

**ANALISA PENGARUH SUDUT TERHADAP GAYA
YANG BEKERJA PADA
BILAH TURBIN SUMBU VERTIKAL UNTUK
KONVERSI ENERGI ARUS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Progran Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FATHAN RIJALULLAH

NRP. 4304 100 036

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Arief Suroso M.Sc..........(Pembimbing 1)

2. Dr. Ir. Haryo D Armono M. Eng..........(Pembimbing 2)



SURABAYA, 1 FEBRUARI 2009

Analisa Pengaruh Sudut terhadap Gaya yang Bekerja pada Bilah Turbin Sumbu Vertikal untuk Konversi Energi Arus

Nama : Fathan Rijalullah

NRP : 4304100036

Dosen Pembimbing : Ir. Arief Suroso, M.Sc.

Dr. Ir. Haryo Dwito Armono, M.Eng

Abstrak

Turbin sumbu vertikal digunakan sebagai salah satu alat konversi energi arus. Putaran turbin disebabkan oleh gaya angkat akibat perbedaan tekanan fluida pada permukaan bilah. Gaya angkat pada bilah diperlukan sebagai awal pergerakan turbin. Bilah HLIFT merupakan pengembangan dari *blade* yang selama ini sudah ada, tujuan penelitian ini untuk mendapatkan sudut optimum untuk menghasilkan gaya angkat dan diameter turbin yang baik. Penelitian ini menggunakan CFD untuk mendapatkan nilai optimum dari bilah dan diameter turbin. Pada pemodelan dibuat *angle of attack* yaitu 45 deg, 30 deg, 15 deg, 0 deg, -15 deg, -30 deg dengan kecepatan fluida sebesar 1m/s. *Solidity ratio* yang digunakan untuk turbin ini adalah 0.05. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai dari koefisien lift sebesar 1.964419 dengan arah *angle of attack* 15 deg dan diameter turbin sebesar 24 meter.

Kata-kata kunci: Bilah HLIFT, *Angle of Attack*, CFD, Koefisien lift, Diameter

The Analysis of Angle of Attack Influence on Vertical Axis Turbine Blade for Current Energy Conversion Device

Name : Fathan Rijalullah
Reg. Number : 4304100036
Supervisor : Ir. Arief Suroso, M.Sc.
Dr. Ir. Haryo Dwito Armono, M.Eng

Abstract

Vertical Axis Turbine can be applied as Current Energy Conversion Device. Turbine rotation is caused by lift force at blade due to surface pressure difference. The lift force needed for initial turbine blade movement. The HLIFT blade type is developed from existing blade. The objective of this study is to determine optimum angle of attack and turbine diameter. This study using CFD to model the blade with variation of angle of attack; 45 deg, 30 deg, 15 deg, 0 deg, -15 deg, -30 deg for velocity of fluids about 1 m/s. The solidity ratio is 0,05. The model shows that the best lift coefficient is 1.964419 at angle of attack 15 deg and best turbine diameter is 24 meters.

Keywords: HLIFT blade, Angle of Attack, CFD, Lift coefficient, Diameter

Kata Pengantar

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah segala puji bagi Dzat Yang Maha Kuasa yang memberi segala kebaikan, ridho dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.

Indonesia yang kaya akan kekayaan alam serta banyaknya potensi yang diberikan oleh Allah SWT seharusnya dapat memberikan negeri ini suatu kemakmuran dan kebahagiaan bagi rakyatnya. Lautan Indonesia menyimpan potensi energi yang luar biasa jika para elit politik, akademika dan pemerintah mau mengolah dan mengelolanya. Energi yang berkelanjutan merupakan keharusan yang utama agar bumi yang semakin tua ini dapat terus ada untuk generasi yang akan datang.

Tugas akhir disusun guna sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) pada Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir yang berjudul **"ANALISA PENGARUH SUDUT TERHADAP GAYA YANG BEKERJA PADA BILAH TURBIN SUMBU VERTIKAL UNTUK KONVERSI ENERGI ARUS"** ini memuat analisa pada bilah alat konversi energi tipe sumbu vertikal dengan variasi sudut. Studi ini dilakukan untuk mendapatkan sudut terbaik yang berguna untuk *self starting* pada turbin sebagai gaya awalan untuk berputar.

Naskah yang menjadi bahan utama dalam tulisan ini tak terlepas dari banyaknya bantuan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak banyak terima kasih kepada keluarga; *ummi* dan bapak yang memberikan dukungan, curahan kasih sayang yang luar biasa (andai kutulis kebaikan engkau maka anak-mu ini tak sanggup untuk menyebutkannya), pemilik tempat singgah; Mbah Darsi yang selalu mendukung dan memberi nasihat kepada penulis serta adik-adik penulis yang selalu mendukung untuk segera menyelesaikan studi. Selain itu yang membuat penulis bersemangat menyelesaikan tulisan ini, untuk itu penulis sangat

berterima kasih kepada Ir.Arief Suroso M.Sc dan Dr.Ir.Haryo D Armono M.Eng atas bimbingan, konsultasi, diskusi dan arahnya kepada penulis yang sangat berarti untuk penyelesaian tulisan ini. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Ir.Nur Syahrone MT dan Ir.M Murtedjo M.Eng sebagai wali penulis untuk segala arahan dan kebaikan selama studi di teknik kelautan. Kepada seluruh dosen pengajar mata kuliah yang telah memberikan ilmunya kepada penulis. Tak lupa para sahabat “*bro and sis*” UMENER^S yang selalu bersama-sama mendampingi penulis (ingat ya, kita bisa buat PT. Ume No Ryu “*Yes We Can*”), *GYF Team*, *Opres Brother* serta para penghuni *flume tank laboratory*. Serta rekan-rekan yang bersama-sama studi di teknik kelautan serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan.

“*Tak ada gading yang tak retak*”, itulah kata yang patut diucapkan untuk tulisan ini. Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna sehingga diperlukan pengkajian terus menerus sehingga negeri yang “*gemah ripah loh jinawi*” ini dapat menjadi negeri yang makmur dan jaya.

Penulis,

Fathan Rijalullah

*Demi waktu,
Sesungguhnya manusia dalam keadaan merugi
Kecuali mereka yang beriman dan beramal shalih, dan
Saling menasehati untuk kebenaran dan kesabaran
(QS: Al-Asr)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Peneltian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pendahuluan	5
2.2. <i>Airfoil</i> (Bilah sudu)	7
2.3. Gaya yang Bekerja pada Airfoil	8
2.4. Prinsip Kerja Turbin Vertikal Axis	11
2.5. Pasang Surut dan Arus	15
2.6. <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD)	17
2.7. <i>Software</i> FLOW3D	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	23
3.2. Langkah Pengerjan	25
3.3. Validasi FLOW3D	26
3.4. Pemodelan FLOW3D	28
3.4.1 Pembagian Grid	29
3.4.2 Koordinat Probe	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data	37
4.2 Penempatan <i>Obstacle</i>	37
4.3 Analisa Validasi	37
4.4 Analisa Model	40
4.4.1 Pembagian Grid	40
4.4.2 Perhitungan Koefisien Lift (Cl)	47
4.4.3 Perhitungan Diameter Turbin	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proyeksi Permintaan Listrik 2000-2010 (TWH)	1
Gambar 2.1 Turbin Angin Darrius	5
Gambar 2.2 Turbin Horizontal Axis	6
Gambar 2.3 Jenis turbin Vertikal axis	6
Gambar 2.4 Type foil NACA Series	7
Gambar 2.5 Properties airfoil	7
Gambar 2.6 Arah gaya drag dan lift	8
Gambar 2.7 <i>Angle of attack</i> (γ) pada airfoil	8
Gambar 2.8 Gaya Lift (L) dan Gaya Drag (D) pada Blade	10
Gambar 2.9 Analisa tabung aliran untuk disk aktuator yang diidealisasikan	12
Gambar 2.10 Gaya-gaya pada blade	13
Gambar 2.11 Cp Vs tsr dengan variasi Solidity	14
Gambar 2.12 Jenis grafik pasang surut	16
Gambar 2.13 Koordinat dari FLOW3D	
(a) Cartesian Coordinat (b) Cylindrical Coordinat	19
Gambar 2.14. Menu tabs pada tombol project	20
Gambar 2.15 Running preprocessor	21
Gambar 2.16 Result dari run solver	21
Gambar 3.1 Flowchart alur penelitian	23
Gambar 3.2 Bentuk <i>blade</i> HLIFT dalam 3-Dimensi dalam Autocad 2004	25
Gambar 3.3 Silinder yang diberi fluida bergerak	26
Gambar 3.4 Kecepatan dan tekanan fluida pada titik tinjau	27
Gambar 3.5 Koordinat pengambilan <i>probe</i>	28
Gambar 3.6 <i>Blade</i> HLIFT dalam bentuk *.stl	28
Gambar 3.7 Tampilan FLOW3D berupa GUI (<i>Graphical User Interface</i>)	29

Gambar 3.8 Letak pengambilan <i>probe</i> untuk <i>blade</i> HLIFT	30
Gambar 3.9 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> 45 degree	31
Gambar 3.10 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> 30 degree	32
Gambar 3.11 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> 15 degree	32
Gambar 3.12 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> 0 degree	33
Gambar 3.13 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> -15 degree	34
Gambar 3.14 <i>Blade</i> dengan <i>Angle of attack</i> -30 degree	34
Gambar 3.15 Pembagian <i>grid</i> pada <i>obstacle</i>	35
Gambar 4.1 Validasi <i>velocity</i>	38
Gambar 4.2 Validasi tekanan	39
Gambar 4.3 Tekanan yang terjadi untuk 45 deg setelah 25 detik	41
Gambar 4.4 Tekanan yang terjadi untuk 30 deg setelah 25 detik	42
Gambar 4.5 Tekanan yang terjadi untuk 15 deg setelah 25 detik	43
Gambar 4.6 Tekanan yang terjadi untuk 0 deg setelah 25 detik	44
Gambar 4.7 Tekanan yang terjadi untuk -15 deg setelah 25 detik	45
Gambar 4.8 Tekanan yang terjadi untuk -30 deg setelah 25 detik	46
Gambar 4.9 Perbandingan tekanan untuk upper surface	46
Gambar 4.10 Perbandingan tekanan untuk lower surface	47
Gambar 4.11 Grafik nilai koefisien lift untuk setiap sudut.	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi komputer yang mendukung FLOW3D	19
Tabel 2.2 Minimum hardware instalasi FLOW3D	20
Tabel 3.1 Koordinat penempatan <i>probe</i> pada validasi silinder	27
Tabel 3.2 Pembagian Grid untuk Setiap Daerah Komputasi <i>Flume Tank</i> Penelitian	30
Tabel 3.3 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> 45 derajat	31
Tabel 3.4 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> 30 derajat	31
Tabel 3.5 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> 15 derajat	32
Tabel 3.6 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> 0 derajat	33
Tabel 3.7 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> -15 derajat	33
Tabel 3.8 Koordinat untuk <i>Angle of attack</i> -30 derajat	34
Tabel 4.1 Perbandingan Kecepatan antara literatur dan hasil running FLOW3D	38
Tabel 4.2 Perbandingan Tekanan antara literatur dan hasil running FLOW3D	39
Tabel 4.3 Hasil output FLOW3D setelah <i>finish time</i> : 25 detik	40
Tabel 4.4 Tekanan rata-rata dari setiap bagian permukaan <i>blade</i>	47
Tabel 4.5 Force tiap sudut pada permukaan	47
Tabel 4.6 Nilai koefisien lift	48
Tabel 4.7 Penentuan diameter dengan <i>Solidity ratio</i> = 0.05	49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	:Input FLOW3D
LAMPIRAN B	:Output Pressure FLOW3D
LAMPIRAN C	:Perhitungan Koefisien Lift dan Diameter Turbin
LAMPIRAN D	:Geometri Bilah HLIFT

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni: (1) Menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), (2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan (3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) akibat bahan bakar fosil. Lonjakan harga minyak hingga \$.100/ barel mempengaruhi aktifitas perekonomian di berbagai belahan dunia. Di Indonesia, kemelut tersebut diperparah dengan maraknya penyelundupan minyak yang mengakibatkan kerugian negara hingga puluhan trilyun rupiah per tahun.

Saat ini energi yang dihasilkan secara global diproduksi sebagian besar oleh bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batubara. Sumber daya ini terbatas dan hasil dari pembakaran itu menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida. *Kyoto Protocol* yang merupakan kesepakatan untuk mengurangi emisi dari gas rumah kaca ke atmosfer (*The Kyoto Protocol*, 2005). Pemenuhan kebutuhan energi yang berkelanjutan di masa depan dan penghormatan terhadap kyoto protocol sehingga permintaan semakin meningkat terhadap energi yang dapat diperbaharui seperti angin, geothermal, matahari dan lautan.

Daerah	2000	2005	2010	Pertumbuhan/tahun
Jawa-Bali	63,1	97,4	147,1	8.9%
Luar Jawa-Bali	15,0	23,7	39,5	10.0%
Total	78,1	121,1	186,6	9,45%

Gambar 1.1 Proyeksi Permintaan Listrik 2000-2010 (TWH)
(Kantor Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2000)

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk bahan pertimbangan dalam perencanaan dan desain (*Planning & Designing*) turbin vertikal axis dengan menggunakan *blade* HLIFT untuk konversi energi arus sehingga dapat diaplikasikan secara efisien.

1.5 Batasan Masalah

1. Sudut datang arus searah model.
2. Arus dominan adalah arus pasang surut.
3. Pemodelan dilakukan secara 2 dimensi.
4. Perairan dianggap tidak ada gelombang.
5. Pengaruh tekanan akibat kedalaman diabaikan.
6. Pemodelan dilakukan hanya pada bilah sudu / *blade*.
7. Fluida *Incompressible*.
8. Permukaan bilah sudu dianggap halus sehingga gaya geser pada permukaan (*wall shear stress*) diabaikan.
9. Gaya tahanan (*drag force*) tidak dihitung.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini dimulai dengan pendahuluan pada bab satu yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan penelitian ini, manfaat yang diperoleh, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan laporan.

Tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam penelitian ini dijelaskan pada bab dua. Secara rinci bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian penelitian, dasar-dasar teori, rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian penelitian ini dicantumkan dalam bab ini.

Bab tiga pada penulisan laporan penelitian ini menerangkan tentang metodologi penelitian yang digunakan untuk mengerjakan penelitian. Penjelasan pemodelan yang dilakukan dalam penelitian penelitian juga dicantumkan dalam bab ini.

The background of the page is covered with a repeating pattern of the ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) logo. Each logo consists of a blue shield with a white emblem inside, followed by the letters 'ITS' in a bold, sans-serif font. The logos are arranged in a grid-like pattern across the entire page.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

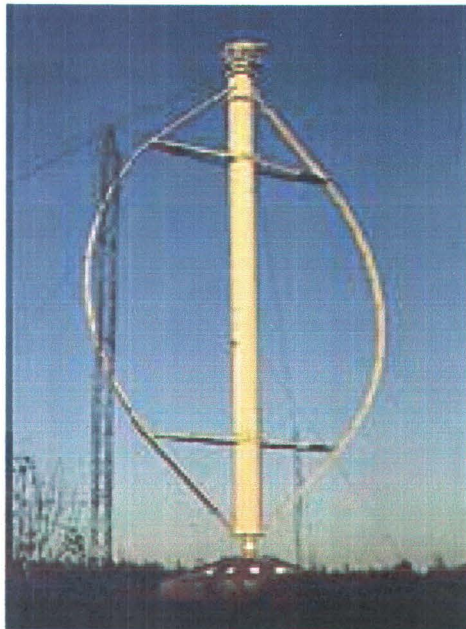
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Konversi energi arus laut mempunyai kemiripan kerja terhadap konversi energi angin namun dengan beberapa perbedaan diantara keduanya. Penempatan dari turbin energi arus pada bawah air memberikan keuntungan seperti suara yang ditimbulkan tidak mengganggu publik, penggunaan lahan didaratan yang lebih kecil tapi memiliki tantangan seperti pengetahuan terhadap teknologi terhadap ketahanan material dari air laut, kesulitan terhadap perawatan dan mahalnya biaya kerja. Perbedaan densitas antara air dan udara sebesar 800 kali mempunyai kelebihan terhadap energi yang dihasilkan. Sebagai contoh; untuk unit turbin angin dengan diameter 33,4 m dengan kecepatan angin 12 m/s menghasilkan 300 kW, dengan turbin arus dengan desain diameter turbin 20 m dengan kecepatan arus 2 m/s menghasilkan 300 kW (catatan: efisiensi turbin angin dan arus dianggap sama).

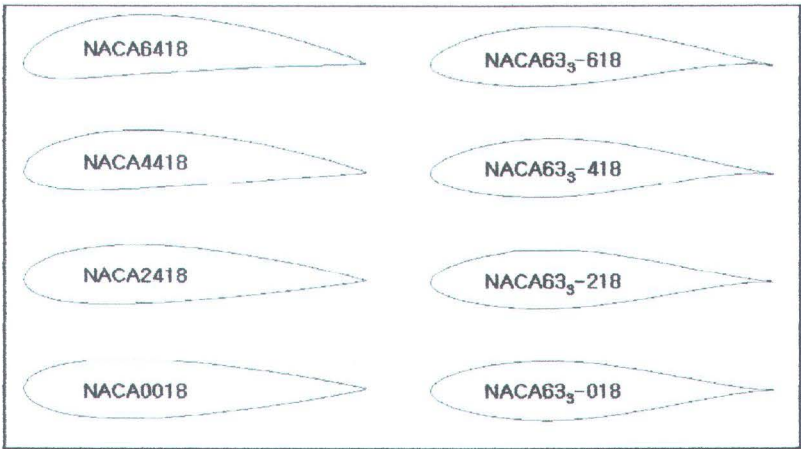
Perkembangan konversi energi dimulai pada tahun 1930 oleh Darrius dengan pembuatan turbin angin dengan bentuk turbin secara vertikal, dalam perjalanan waktu mulai dilakukan pengembangan dari turbin angin tersebut.



Gambar 2.1 Turbin Angin Darrius
(www.windpower.org)

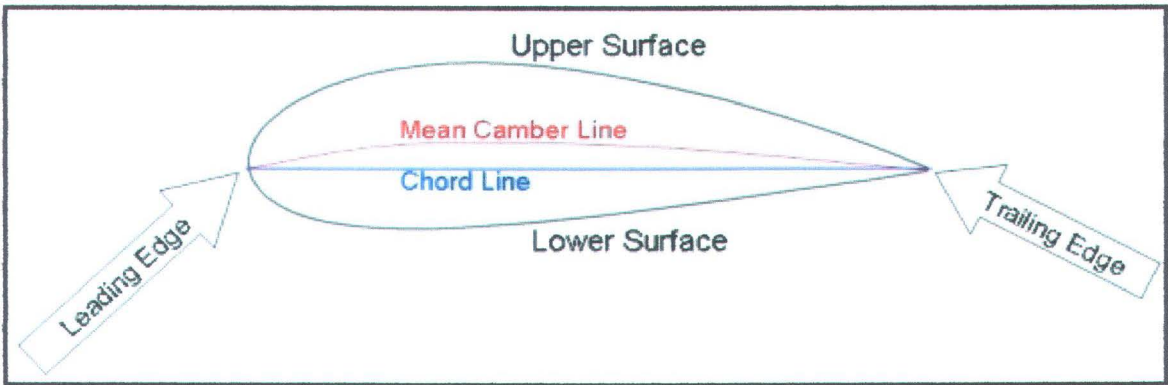
2.2 Airfoil (Bilah sudu)

Pengembangan bentuk airfoil pertama yang dipatenkan dilakukan oleh Horatio F. Phillips tahun 1884. Sudu-sudu rotor turbin seringkali berpenampang airfoil tetapi adakalanya sudu ini terbuat dari plat lengkung atau sudu layar yang merupakan penyederhanaan dari bentuk propeler, salah satu jenis blade yang sering digunakan adalah jenis NACA (National Advisory Commitee for Aeronautics).



Gambar 2.4 Type blade NACA Series (Hwang In Seong,et al. 2005)

Airfoil NACA (National Advisory Commitee for Aeronautics) merupakan Komisi pelopor dari NASA (National Aeronautics and Space Administration) dan sampai sekarang ini tipe airfoil NACA banyak digunakan. Jenis pengembangan banyak dilakukan dan menghasilkan berbagai macam tipe yaitu; tipe 4 digit, 5 digit dan 6 series. Properties dari airfoil dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.5 Properties airfoil (www.dreeseencode.com/primer/airfoil1.html)

Leading edge adalah sudut depan dari airfoil sedangkan bagian belakang adalah trailing edge, pada permukaan atas disebut sebagai upper surface sedangkan pada bagian bawah disebut dengan bottom surface. Bagian yang membelah airfoil mulai dari leading edge sampai trailing edge secara garis lurus disebut chord line (digunakan untuk menentukan angle of attack) sedangkan yang berwarna merah

Jika suatu nilai tekanan diketahui dan nilai *wall shear stress* didapat maka kita bisa menghitung gaya resultan yang ditimbulkan dengan persamaan (Munson.1990):

$$L = \int p \sin \alpha \, dA + \int \tau_w \cos \alpha \, dA \quad (1)$$

dimana ;

L = gaya lift (gaya angkat)

p = tekanan pada permukaan (N/m^2)

τ_w = *Wall shear stress* (N/m^2)

dA = *Surface area* (m^2)

Persamaan (1) digunakan untuk persyaratan dimana nilai tekanan dan *wall shear stress* yang diketahui, Tentu saja, untuk mencari integral dan mendapatkan lift kita harus mengetahui bentuk permukaan sebagai suatu fungsi lokasi permukaan. Untuk mencari nilai tekanan dapat dilakukan secara eksperimen tanpa terlalu sulit, namun mencari dari *wall shear stress* merupakan kendala yang berarti maka www.grc.nasa.gov memberikan persamaan dengan nilai dari *wall shear stress* ditiadakan sehingga persamaan menjadi.

$$L = \int p \, dA \quad (2)$$

Rumus umum untuk mengetahui kualitas unjuk kerja dari sudu-sudu yang blade ini biasanya dinyatakan dalam harga koefisien gaya lift (C_L). Perhitungan besarnya gaya tersebut adalah:

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho V A \quad (3)$$

Dimana

C_L = Koefisien gaya lift (gaya angkat)

ρ = density udara yang mengalir (kg/m^3)

V = Kecepatan fluida (m/s)

A = *Frontal area* (m^2)

Pergerakan turbin akibat suatu fluida bergerak dapat dihitung dengan cara menghitung gaya dorong yang dihasilkan oleh blade dari masing-masing (www.windturbine-analyse.com), untuk gaya-gaya yang terjadi pada *blade* yang berinteraksi dengan putaran dan arah fluida, dapat dilihat pada gambar dibawah ini

Model blade jenis HLIFT digunakan pada turbin KOBOLD yang ditempatkan di Selat Messina, Italia dan sudah dioperasikan dalam skala penuh mulai tahun 2001. Blade HLIFT merupakan pengembangan dari blade jenis NACA yang dibuat secara khusus oleh DPA (*Dipartimento di Progettazione Aeronautica*) University of Naples Italy yang dirancang untuk mengurangi getaran dan mempunyai gaya lift yang baik (Coiro *et al*,2005).

2.4 Prinsip Kerja Turbin Vertikal Axis

Teori momentum pada *stream tube* oleh Froude memberikan pemahaman yang sederhana untuk permasalahan permodelan rotor yang diidealisasikan dengan mengasumsikan bahwa :

- a) Percepatan baling-baling seragam pada semua fluida yang dilewati
- b) Aliran adalah tanpa gesekan
- c) Gaya disalurkan secara merata pada seluruh profil dari *stream tube*
- d) Aliran masuk dan aliran keluar hanya memiliki satu jalur yang sama

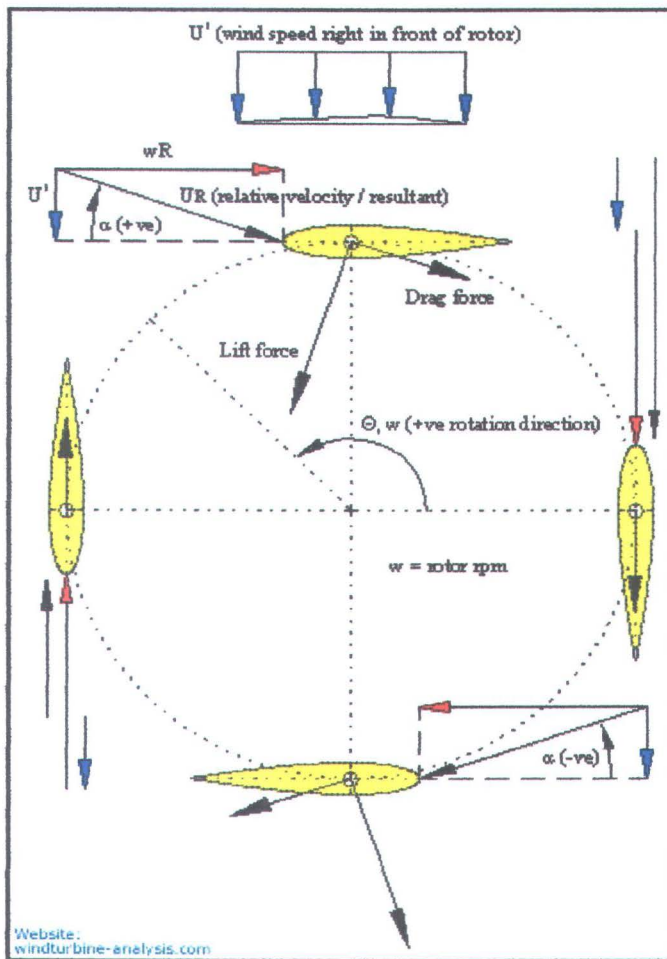
Daya dari baling-baling tanpa gesekan telah diramalkan oleh A.Betz pada tahun 1920 dengan mensimulasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sesuai dengan teori Bernoulli bahwa tekanan dan volume masuk sama dengan tekanan dan volume keluar ($P_1 = P_2$ dan $V_1 = V_2$) dan sehingga didapat tekanan (Jan,1976)

$$E = p + \gamma h + \frac{\rho v^2}{2g} = \text{konstan} \quad (8)$$

untuk aliran horizontal

$$p_2 = p_1 - \frac{\rho(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \quad (9)$$

Dalam teori momentum Froude, baling-baling diasumsikan sebagai cakram aktuator yang timbul memotong diskontinuitas tekanan bidang baling-baling. Arus pada tabung aliran masuk dengan kecepatan U_1 dan menuju keluar dengan kecepatan U_2 yang melambat pada bagian hilir. Secara fisika tekanan pada daerah P_1 masuk lebih besar dan saat melewati baling-baling tekanan akan turun (Jan,1976)



Gambar 2.10 Gaya-gaya pada blade
(www.windturbine-analysis.com)

Keterangan:

- >Panah biru – kecepatan fluida relatif.
- >Panah merah – kecepatan relatif ke baling-baling.
- >Panah hitam – resultan kecepatan fluida relatif ke baling-baling.

Gambar 2.10 menunjukkan resultan gaya angkat (lift) akan membantu perputaran baling-baling sedangkan gaya seret (drag) akan melawan perputaran dari baling-baling itu. Ketika gaya angkat nol pada sisi kiri (0 derajat) dan sisi kanan (180 derajat) dimana baling-baling simetris bergerak paralel menuju arah fluida, torsi berubah menjadi negatif disekitar posisi ini. Mendekati posisi depan (90 derajat) dan posisi dibelakang (270 derajat), komponen dari gaya angkat (lift) lebih besar dibandingkan gaya seret (drag) sehingga menghasilkan torsi. Torsi total per satu putaran akan bernilai positif jika baling-baling diposisikan pada tempat yang tepat sehingga rotor akan berputar pada arah yang benar.

$$m = \rho \cdot A \cdot V_a \quad (16)$$

Dari rumus diatas dapat ditulis rumus energi kinetiknya, yaitu:

$$P = \frac{1}{2} m \cdot (V_a)^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot (V_a)^3 \quad (17)$$

Dimana:

m = *mass flow rate* (kg/det)

P = energi kinetik (Watt)

ρ = Density fluida (kg/m³)

A = Luas *blade* rotor (m²)

V_a = Kecepatan fluida tanpa gangguan (m/det)

Dapat dilihat bahwa energi berbanding lurus dengan pangkat 3 kecepatannya, tapi perlu diketahui bahwa fluida itu sendiri kecepatannya dan arahnya sangat bervariasi tiap waktu.

2.5 Pasang Surut dan Arus

Arus (*current*) merupakan fenomena alam berupa Bergeraknya air laut secara horizontal. Arus laut dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

- Arus pasang surut (*Tidal Current*)

Arus akibat pasang surut terbentuk oleh gaya tarik menarik antara bumi dengan gaya tarik bulan. Proses pasang surut dikaitkan dengan naik-turunnya muka air laut (*sea level*) secara berkala. Matahari mempunyai massa yang jauh lebih besar dibanding bulan, tetapi karena bulan jauh lebih dekat terhadap bumi maka gaya tarik bulan lebih besar 2,2 kali dibanding gaya tarik matahari (Triatmodjo, 1999).

Setiap titik di bumi yang mengalami gaya sentripetal dan gaya tarik bulan dimana resultan dari kedua gaya tersebut adalah gaya pembangkit pasang surut. Bulan dan bumi berotasi di tengah massa dari sistem bumi-bulan. Pergerakan rotasi ini memberi kenaikan pada percepatan sentripetal pada permukaan bumi yang membuat air menjauh dari pusat massa dan menuju ke arah bumi yang membelakangi bulan, namun tarikan gravitasi massa yang timbal balik di atas bumi dan bulan menyebabkan air untuk tertarik ke arah bulan (Stewart H. Robert, 2003).

pasang surut dengan kecepatan rata-rata arus pasang surut selama satu periode. Massa air laut mengalir dari laut lepas menuju perairan tertutup pada waktu air pasang dan air kembali menuju laut lepas pada saat air surut.

2.6 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen, Dalam eksperimen, tidak dilakukan secara menyeluruh dalam memodelkan situasi sebenarnya, sehingga hal ini tidak merefleksikan secara keseluruhan dalam pemodelan. Dalam pemodelan numerik, jika input data tidak dimasukan dengan kondisi sebenarnya, maka digunakan parameter yang dapat merefleksikan kondisi sebenarnya. Hal ini penting untuk pemodelkan situasi fisik secara benar sehingga dapat mengkondisikan secara keseluruhan dari yang dimodelkan. *Software* ini merupakan *Computational Fluid Dynamic* dengan menggunakan metode VOF (*Volume of Fluid*) atau *Finite Different Equation*. Metode ini menggunakan sistem koordinat kartesian (Gambar 2.14.a) dengan menyelesaikan persamaan Navier-Stokes :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + f_x \quad (18)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + f_y \quad (19)$$

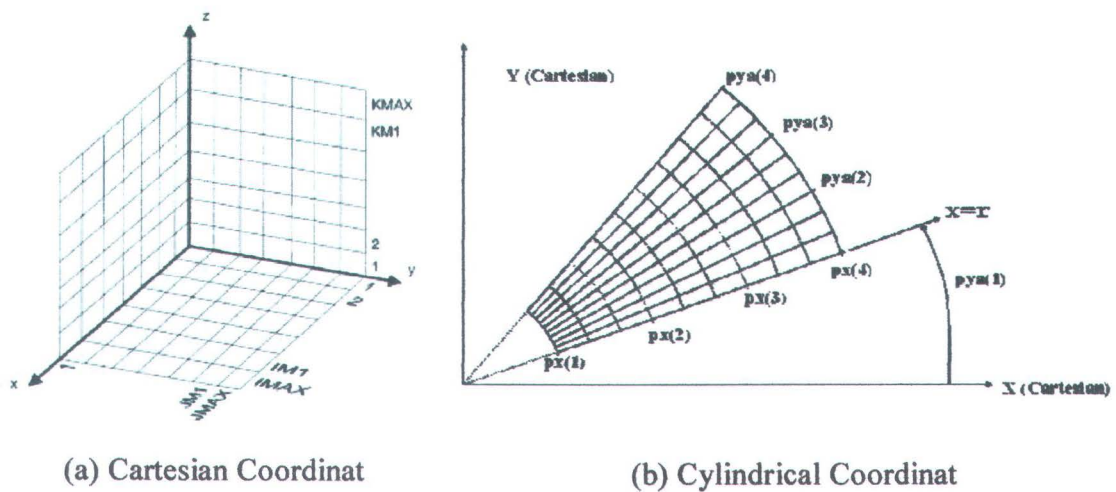
dimana :

u dan v	=	kecepatan fluida dalam arah koordinat kartesian (x,y)
A_x dan A_y	=	daerah terbuka fraksional pada aliran dalam axis x dan y
V_F	=	volume terbuka fraksional pada aliran
t	=	waktu
P	=	tekanan
ρ	=	densitas air laut
f_x dan f_y	=	percepatan viskositas
g_x dan g_y	=	percepatan gravitasi dalam axis x dan y

2.7 Software FLOW3D

FLOW3D merupakan *software* CFD yang dibuat oleh FlowScience Inc. yang digunakan untuk menghitung secara komputasi numerik. Suatu input dari FLOW3D atau "project" file yang dapat dibaca harus bertuliskan prepin."ext" dimana "ext" berupa nilai string karakter untuk mengidentifikasi secara mudah. Prepin berisi informasi data dan variabel yang diperlukan untuk menjalankan model.

Pemodelan numerik pada FLOW3D mendefinisikan sebuah mesh dengan sebuah persegi yang didefinisikan oleh lebar, panjang dan kedalaman, dalam pembuatan mesh dilakukan menggunakan sistem koordinat cartesian atau cylindrical seperti pada Gambar 2.14.

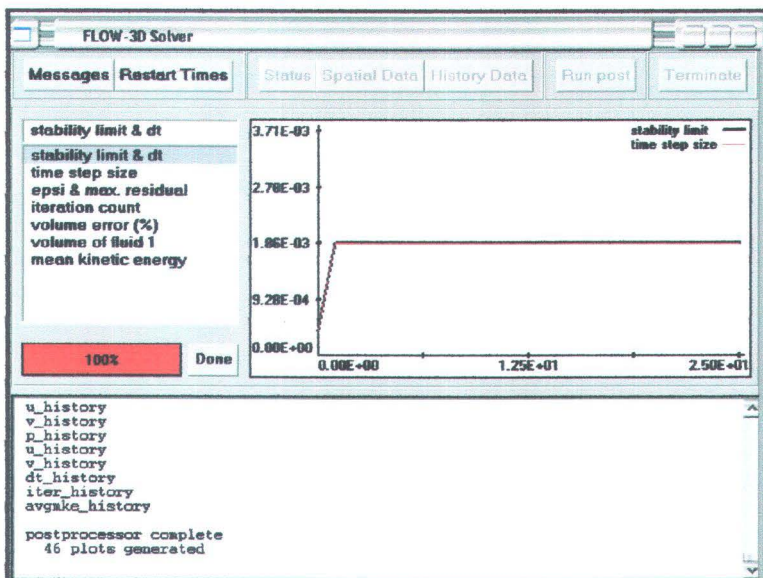


Gambar 2.13 Koordinat dari FLOW3D (FLOW 3D Version 8.1: User's Manual)

Hardware yang diperlukan untuk instalasi dari FLOW3D dapat dikatakan tidak semua jenis komputer dapat diinstall.

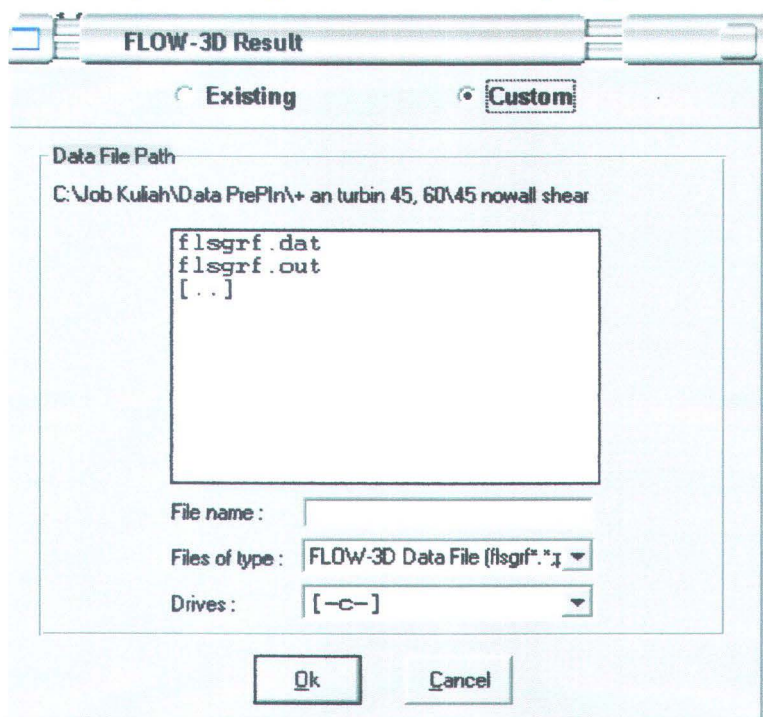
Tabel 2.1 Spesifikasi komputer yang mendukung FLOW3D

Platform	Operating System	FLOW-3D® Versions	Compilers
Intel x86 PII dan PIII	Windows NT 4.0, 2000 dan XP	8.1	Compaq FORTRAN 6.6.A dan Microsoft Visual C++ Professional
Intel x86 P4	Windows NT 4.0, 2000 dan XP	8.1	Intel Fortran 6.0 (Build #85) dan Microsoft Visual C++ Professional
Intel x86 PII and PIII	Linux	8.1	Absoft Pro-Fortran 7.0



Gambar 2.15 Interface dari Run Solver

Hasil dari run solver dapat dilihat pada menu **Result** seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2 16 Result dari run solver

BAB III

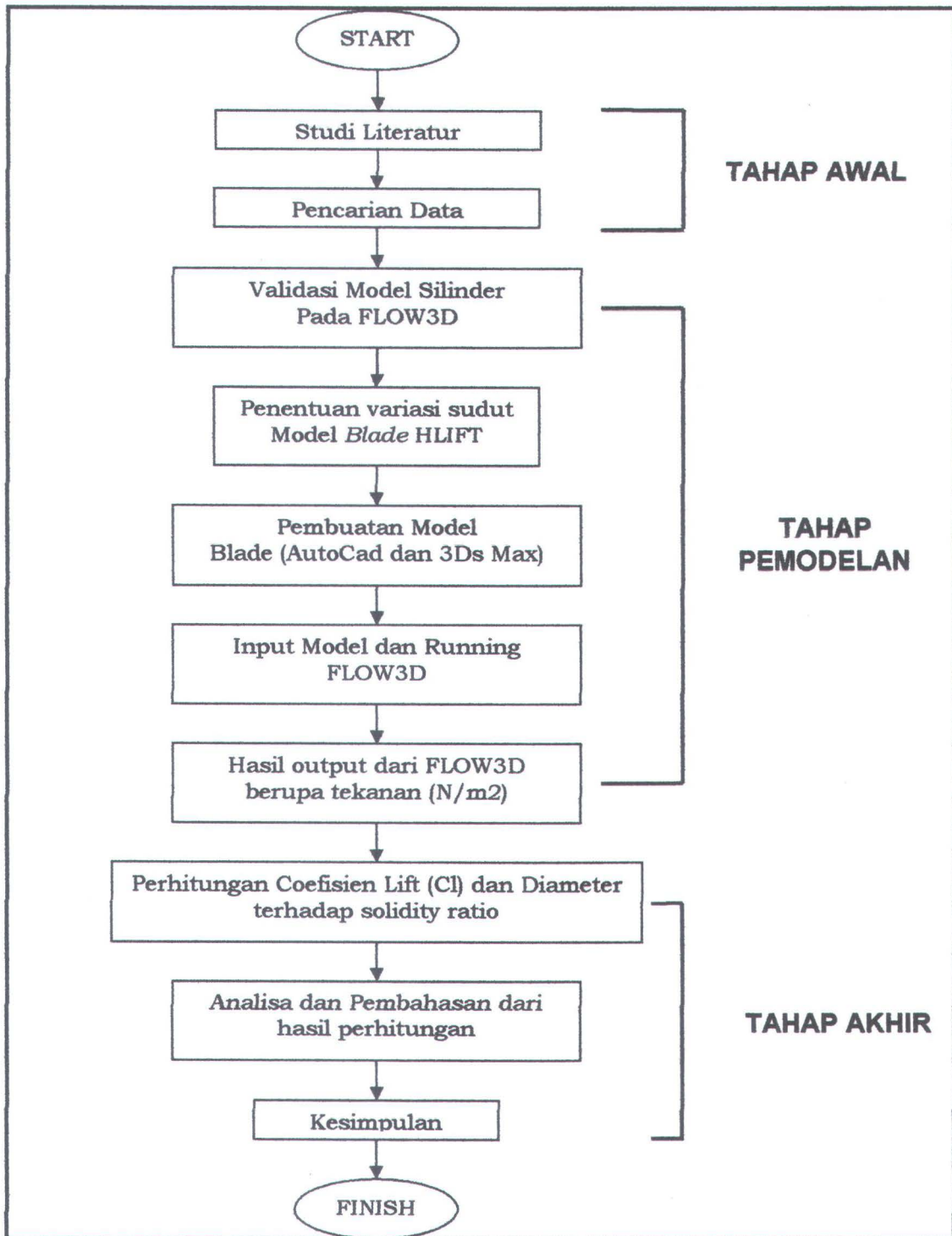
METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Flowchart alur penelitian

i) Analisa dan pembahasan:

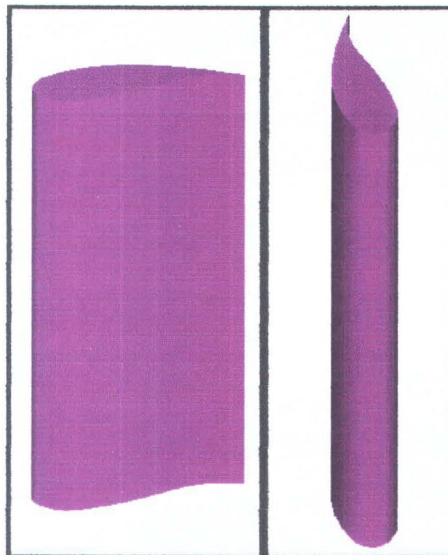
Analisa dan pembahasan dilakukan untuk menganalisa masalah apa saja yang terjadi dan membahas hal-hal yang berkaitan dengan tujuan dari penelitian.

j) Kesimpulan :

Kesimpulan berisi informasi dari tujuan penelitian yang sudah dilakukan, yaitu berupa sudut terbaik untuk koefisien lift dari *blade* HLIFT dan besarnya diameter terhadap *solidity ratio* turbin vertikal axis.

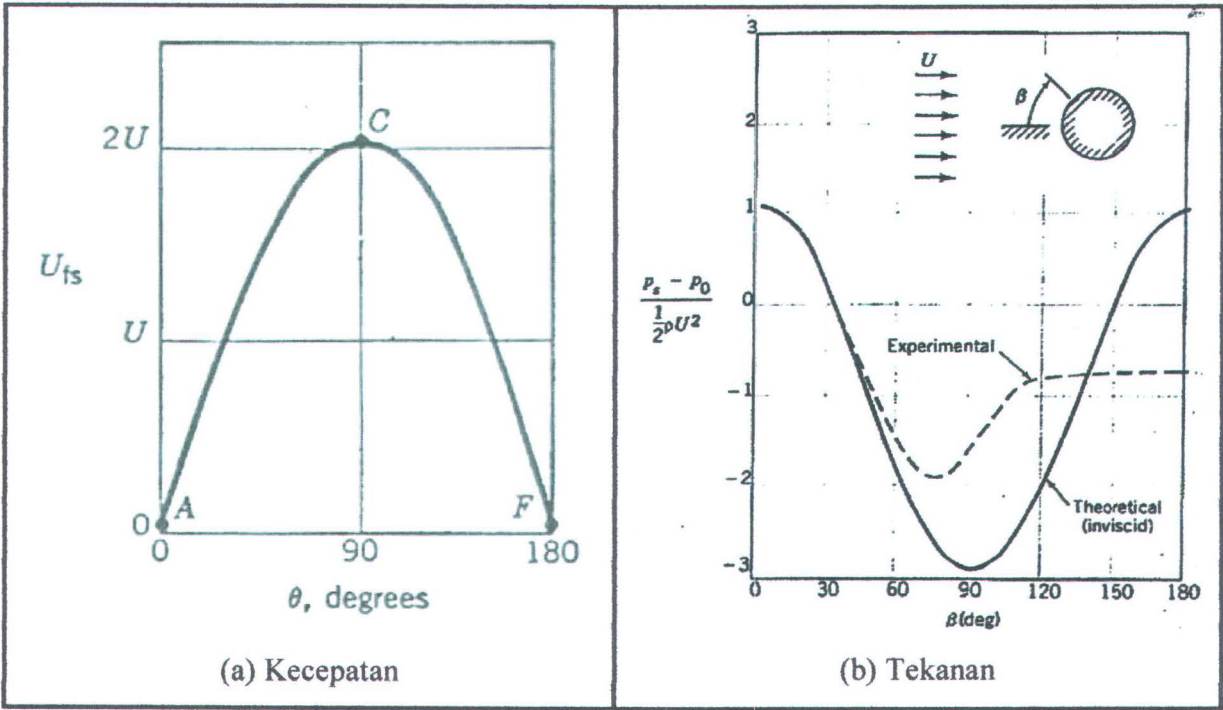
3.2 Langkah Pengerjaan

1. Menentukan *lay out* bentuk *blade* yang akan diteliti, dalam penelitian ini akan digunakan *blade* HLIFT
2. Membuat model turbin dengan bantuan *Software* AutoCad 2004 yang nantinya menghasilkan file dengan ekstensi DWG.



Gambar 3.2 Bentuk *blade* HLIFT dalam 3-Dimensi dalam Autocad 2004

3. Agar dapat dibaca oleh *Software* utama dalam penelitian ini (FLOW3D), model turbin dengan ekstensi DWG perlu diekspor kedalam bentuk STL dengan bantuan *Software* 3Ds Max 7.
4. Bentuk file *.stl dari 3DsMax di export kedalam FLOW3D.
5. Untuk melihat apakah file *.stl yang dibuat sudah benar atau ada cacat pada STL maka dilakukan pemeriksaan *obstacle* menggunakan *software* MiniMagics yang dilakukan berdasarkan jumlah dari mesh file STL (cacat pada *.stl dapat menyebabkan tidak dapat dibacanya oleh FLOW3D).



Gambar 3.4 Kecepatan dan tekanan fluida pada titik tinjau (Munson.1990)

Titik tinjau (*probe*) pada silinder menggunakan koordinat titik pusat lingkaran yang nantinya akan digunakan sebagai titik putar pada *blade*, yaitu:

X: 0.25

Y: 0.25

Z: 0

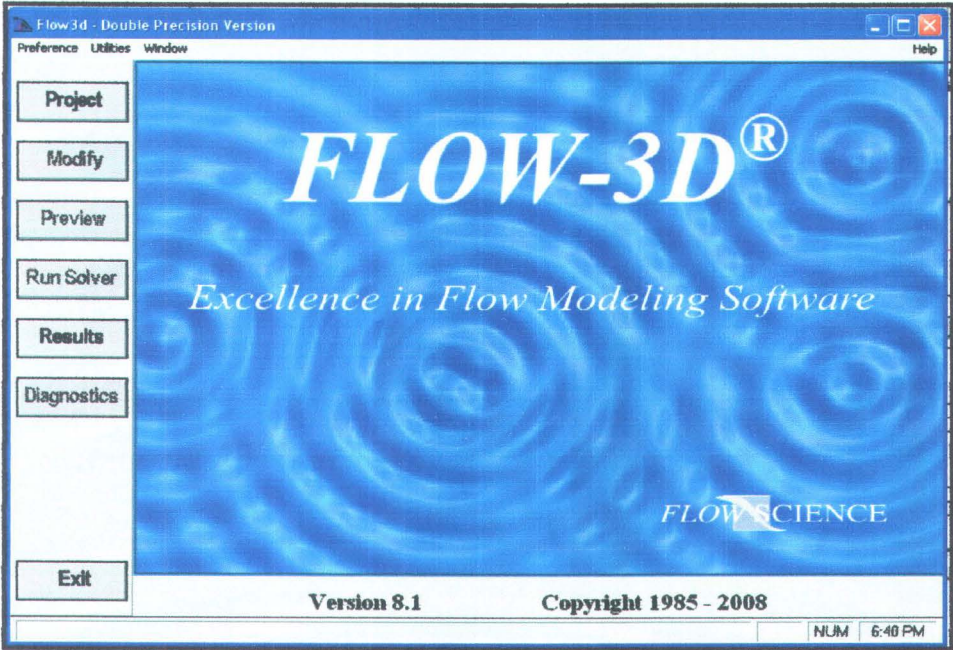
Tata letak dari pengambilan data pada *probe* berupa silinder untuk proses validasi diberikan data pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.5.

Tabel 3.1 Koordinat penempatan *probe* pada validasi silinder

No.	Surface	
	Coordinat	
	x	y
1	0.5	0.25
2	0	0.25
3	0.25	0.5
4	0.25	0
5	0.5	0.25

Pengambilan *probe* pada silinder dilakukan dengan mengambil nilai tekanan dan kecepatan dipermukaan silinder dengan koordinat dibawah ini.

0.0) sebagai sumbu putar sehingga memudahkan proses penempatan *blade* dalam pemodelan FLOW3D (nilai sumbu z adalah 0 karena analisa dilakukan 2 dimensi).



Gambar 3.7 Tampilan FLOW3D berupa GUI (*Graphical User Interface*)

Tahap 3

Selanjutnya, pada tahap ini dilakukan pemodelan dengan bantuan *software* FLOW3D dengan menyusun *boundary condition* yang ingin dimodelkan seperti konfigurasi jumlah *mesh/grid*, tata letak *blade*, letak titik yang akan dianalisa, kecepatan arus, penentuan *Finish Time* running program, dll. File input yang telah disusun sesuai dengan kebutuhan kemudian disimpan dengan nama *prepin.**. Untuk mengetahui apakah file input yang disusun sudah benar, kita bisa menggunakan perintah *preview*. Setelah pengecekan file input dijalankan, maka *prepin* siap dirunning dengan menggunakan perintah *Run Solver*. Running Program pada penelitian ini dijalankan sebanyak 7 kali, yaitu running untuk validasi, *Flume tank* dengan *blade* arah 0 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah 15 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah 15 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah 30 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah 45 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah -15 deg, *Flume tank* dengan *blade* arah -30 deg.

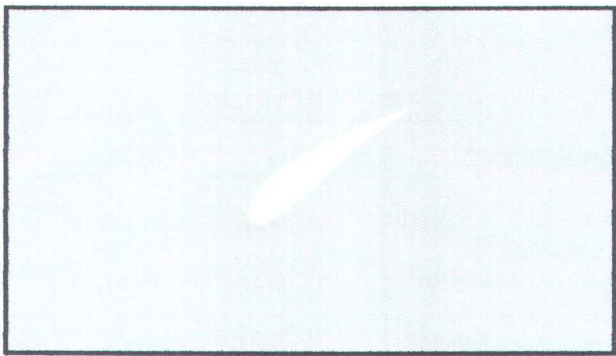
3.4.1 Pembagian Grid

Untuk setiap kondisi *flume tank*, digunakan konfigurasi pemodelan grid yang sama sehingga dapat dilakukan perbandingan parameter yang diinginkan pada titik yang sama. Koordinat dan jumlah grid yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2

a. Koordinat *Angle of attack* 45 degree :

Tabel 3.3 Koordinat untuk *Angle of attack* 45 derajat

	Upper surface		Lower surface	
	Coordinat		Coordinat	
No.	x	y	x	Y
1	0.1086	0.1086	0.1086	0.1086
2	0.1025	0.1430	0.1325	0.1130
3	0.1090	0.1647	0.1481	0.1256
4	0.1821	0.2613	0.2283	0.2152
5	0.2645	0.3203	0.2910	0.2938
6	0.3543	0.3720	0.3619	0.3644
7	0.3929	0.3899	0.3929	0.3899



Gambar 3.9 *Blade* dengan *Angle of attack* 45 degree

b. Koordinat *Angle of attack* 30 degree :

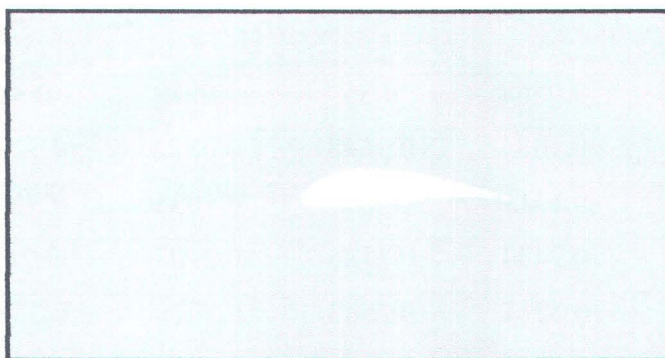
Tabel 3.4 Koordinat untuk *Angle of attack* 30 derajat

	Upper surface		Lower surface	
	Coordinat		Coordinat	
No.	x	y	x	y
1	0.0768	0.15	0.0768	0.15
2	0.0798	0.1848	0.101	0.1481
3	0.0917	0.2041	0.1194	0.1562
4	0.1873	0.2785	0.22	0.222
5	0.2822	0.3142	0.301	0.2817
6	0.3823	0.3408	0.3877	0.3315
7	0.4242	0.3482	0.4242	0.3482

d. Koordinat *Angle of attack* 0 degree:

Tabel 3.6 Koordinat untuk *Angle of attack* 0 derajat

	Upper surface		Lower surface	
	Coordinat		Coordinat	
No.	x	y	x	y
1	0.05	0.25	0.05	0.25
2	0.07	0.2786	0.07	0.2362
3	0.09	0.2894	0.09	0.2341
4	0.21	0.306	0.21	0.2407
5	0.31	0.2895	0.31	0.252
6	0.41	0.2625	0.41	0.2517
7	0.45	0.2479	0.45	0.2479



Gambar 3.12 *Blade* dengan *Angle of attack* 0 degree

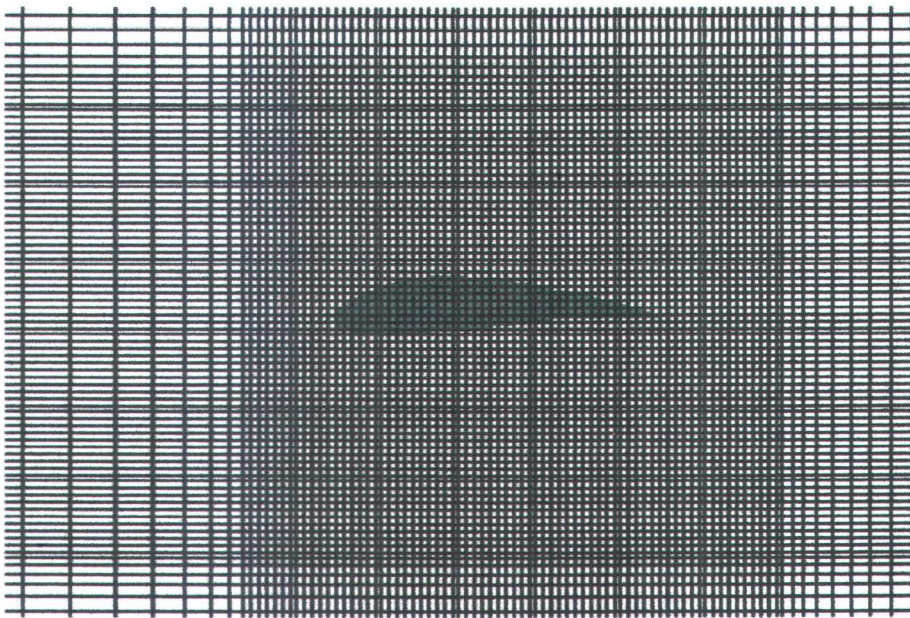
e. Koordinat *Angle of attack* -15 degree:

Tabel 3.7 Koordinat untuk *Angle of attack* -15 derajat

	Upper surface		Lower surface	
	Coordinat		Coordinat	
No.	x	y	x	y
1	0.0568	0.3018	0.0568	0.3018
2	0.0835	0.3242	0.0726	0.2833
3	0.1056	0.3295	0.0913	0.276
4	0.2259	0.3145	0.209	0.2514
5	0.3182	0.2726	0.3085	0.2364
6	0.4078	0.2206	0.405	0.2103
7	0.4426	0.1962	0.4426	0.1962

masing-masing *probe* ini akan dilakukan peninjauan terhadap tekanan dari permukaan akibat perbedaan tekanan aliran yang akan mengakibatkan gaya angkat (*lift force*), pemilihan titik tinjau sebanyak 14 titik dapat mewakili dari nilai tekanan pada *blade*.

Pembuatan model *flume tank* dimulai dengan membuat grid-grid yang sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan. Kerapatan grid yang tinggi akan menghasilkan tampilan yang halus serta memberikan data yang lebih terinci karena pembacaan data oleh *software* akan lebih banyak dan detail.



Gambar 3.15 Pembagian *grid* pada *obstacle*

Gambar diatas dapat dilihat bahwa pada daerah didekat *blade*, gridnya lebih rapat dari pada daerah yang lain, hal ini berguna untuk memberikan data tekanan yang lebih terinci sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat. Kerapatan grid lebih diutamakan di daerah *obstacle* karena letak dari titik pengambilan data (*probe*), pada daerah sebelum dan sesudah *obstacle* dapat dilihat proses meshing tidak terlalu rapat. Pada proses meshing, kehalusan dari grid yang rapat akan mendapatkan data yang semakin akurat.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA dan PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Adapun data model yang digunakan untuk keperluan model numerik dalam penelitian ini adalah :

Data Turbin

Panjang <i>Chord</i>	=	0.4 m
Solidity Ratio terbaik	=	0.05

Data Lingkungan

Kecepatan Arus	=	1 m/s
Kedalaman perairan	=	40 m
Tekanan gravitasi	=	-9.8 m/s ²
Berat jenis Air	=	1025 kg/m ³

Data pemodelan

<i>Finish Time</i>	=	25 sekon
ρ air laut	=	1025 Kg/m ³
Kec. arus	=	1 m/s



4.2 Penempatan *Obstacle*

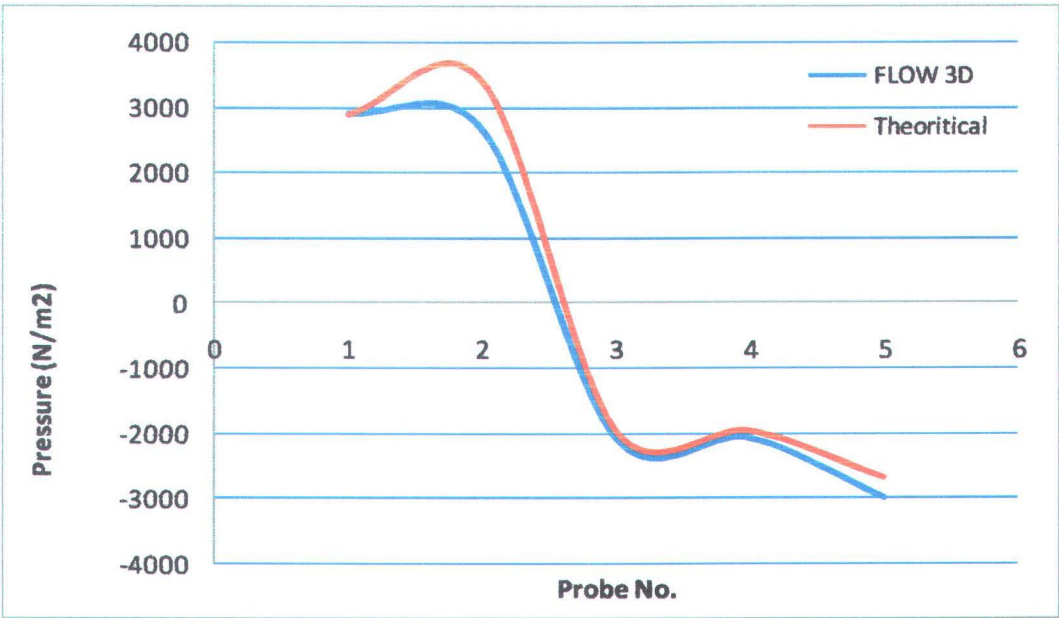
Koordinat dari *obstacle* didapat dari Autocad dan selanjutnya dibuatkan pada FLOW3D. *Obstacle* yang digunakan untuk data adalah berupa penempatan dari silider lalu silinder tersebut dirubah / diganti dengan *blade*, setelah diketahui koordinat titik pusat dari silinder maka dilakukan perubahan *obstacle* dari silinder menjadi *blade* dengan titik putar dari *blade* adalah titik pusat silinder. Keterangan detail ada pada bab 3.4.2.

4.3 Analisa Validasi

Titik tinjau dari pemodelan dilakukan pada permukaan *obstacle* baik silinder maupun *blade*. Koordinat tinjau pada silinder berguna untuk mengetahui apakah kecepatan dari pemodelan adalah sama dengan Munson. Validasi software dilakukan pada silinder yang dikenai fluida dengan mengambil perbandingan kecepatan disetiap *probe* antara grafik dari literatur dan output dari software.

Tabel 4.2 Perbandingan Tekanan antara literatur dan hasil running FLOW3D

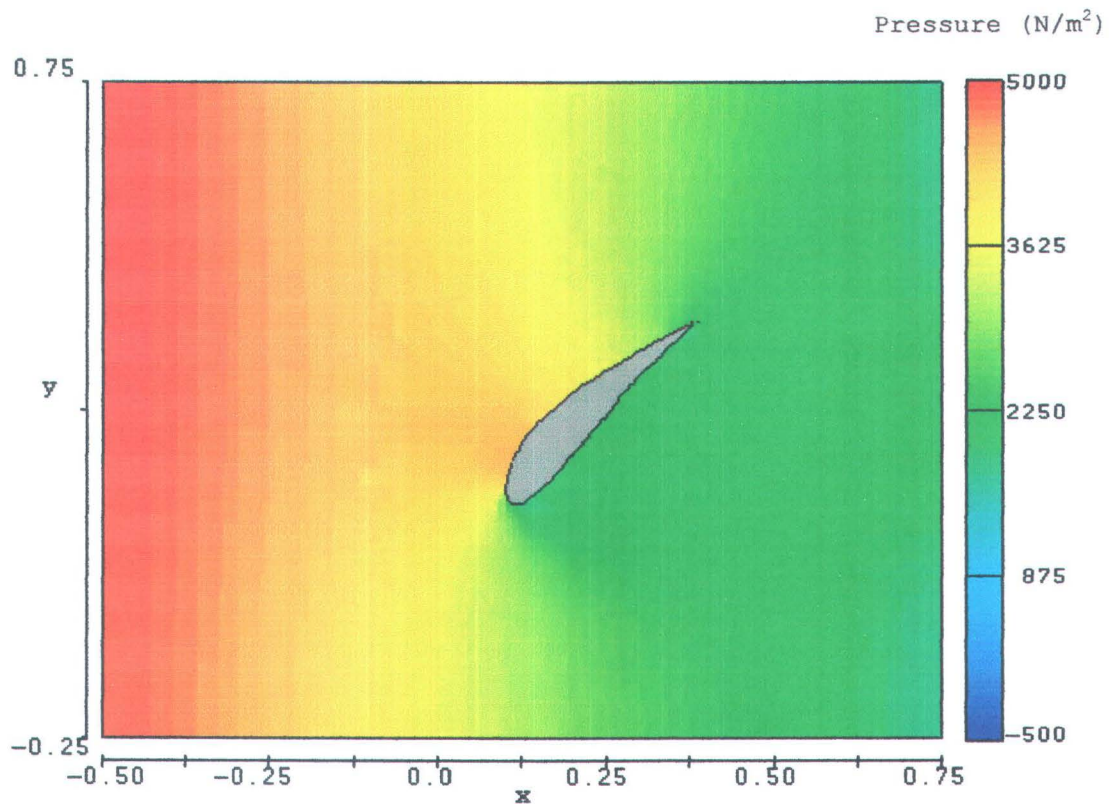
<i>Probe</i>	Tekanan (N/m2)		Error
No.	Theoritical	Flow 3D	%
1	2899,19	2899,19	0,00
2	3411,69	2647,89	22,39
3	-1976,69	-2070,52	4,75
4	-1976,69	-2068,31	4,64
5	-2694,19	-2978,54	10,55



Gambar 4.2 Validasi tekanan

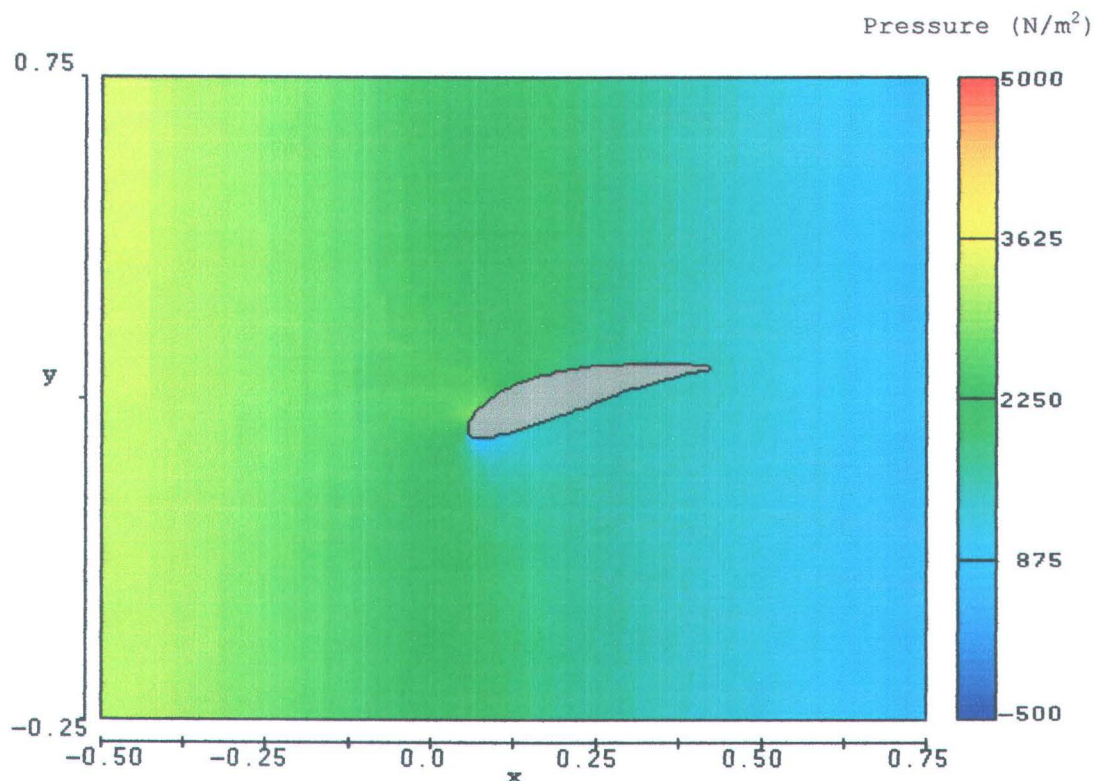
Hasil perbandingan tekanan dapat dilihat bahwa perbedaan nilai antara software dan literatur mempunyai nilai yang relatif besar yaitu sebesar 22.39 % pada *probe* no.2, dan 10.55 % pada *probe* no. 5, namun pada *probe* no. 3 dan 4 mempunyai kesalahan yang kecil sekitar 4~5 %. Hali ini dapat disimpulkan untuk bagian depan dan belakang kesalahan relatif besar (*probe* no. 2 dan 5) sedangkan pada bagian atas dan bawah (*probe* no. 3 dan 4) mempunyai kesalahan yang kecil.

Penelitian ini akan menggunakan tekanan bagian atas dan bawah dari *blade* sedangkan nilai dari kesalahan pada silinder bagian atas dan bawah relatif kecil, sehingga untuk nilai bagian atas dan bawah dari tekanan pada *blade* dapat digunakan.



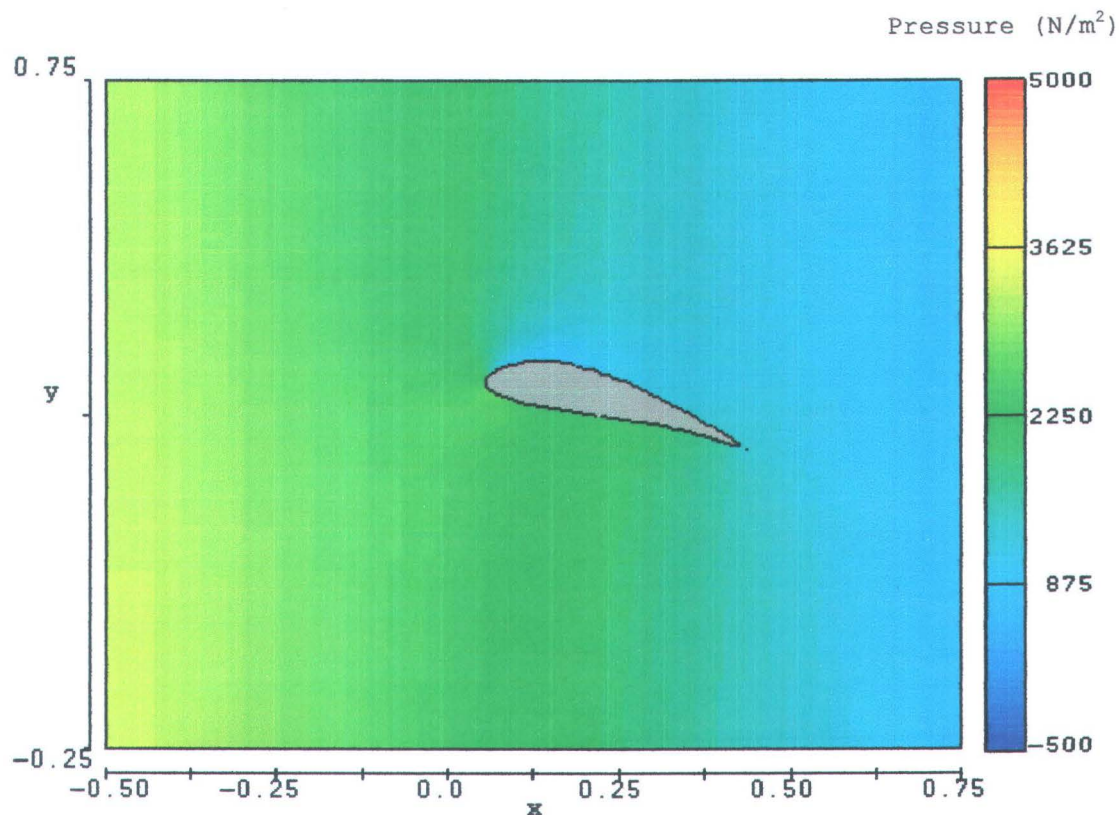
Gambar 4.3 Tekanan yang terjadi untuk 45 deg setelah 25 detik

Pada Gambar 4.3 diketahui untuk bagian atas (*upper surface*) mempunyai tekanan yang lebih besar dibandingkan tekanan pada bagian bawah (*lower surface*), hal ini terlihat dari warna yang tersebar di permukaan atas dan permukaan bawah. Pada permukaan atas tampak mempunyai warna lebih merah pada daerah sekitar depan dan berwarna kuning pada daerah belakang dibandingkan warna pada permukaan bawah bagian depan yang hijau dan bagian belakang yang cenderung lebih hijau kebiruan. Untuk nilai pada setiap *probe* dapat dilihat pada tabel 4.3.



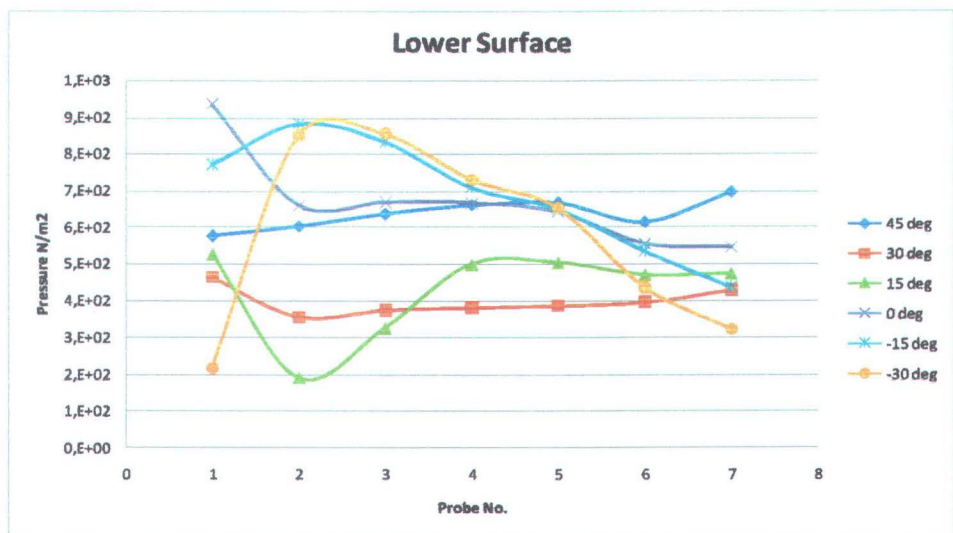
Gambar 4.5 Tekanan yang terjadi pada *blade* 15 deg setelah 25 detik

Pada Gambar 4.5 diketahui untuk bagian atas (*upper surface*) mempunyai tekanan yang lebih besar dibandingkan tekanan pada bagian bawah (*lower surface*), hal ini terlihat dari warna yang tersebar di permukaan atas dan permukaan bawah. Pada permukaan atas bagian depan tampak berwarna kehijauan dan bagian belakang berwarna biru muda sedangkan pada permukaan bawah bagian depan sampai belakang lebih berwarna biru muda. Untuk nilai pada setiap *probe* dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.7 Tekanan yang terjadi pada *blade* -15 deg setelah 15 detik

Pada Gambar 4.7 terlihat tekanan pada permukaan bagian atas lebih rendah dibandingkan tekanan permukaan bagian bawah. Warna yang terjadi untuk bagian atas secara menyeluruh terlihat berwarna biru muda, sedangkan pada bagian bawah berwarna hijau pada bagian depan dan berwarna biru muda pada bagian belakang. Nilai yang lebih akurat pada setiap *probe* dapat dilihat pada tabel 4.3. Time step dilakukan hanya selama 15 detik karena nilai tekanan sudah stabil.



Gambar 4.10 Perbandingan tekanan untuk lower surface

Bentuk penyajian gambar perbandingan tekanan tiap *probe* diketahui bahwa pada *probe* no.2 mempunyai perubahan nilai yang signifikan dibandingkan *probe* yang lain. Hal ini diakibatkan dari bentuk geometri airfoil tipe HLIFT yang mempunyai bentuk *chamber* yang melengkung yang mengakibatkan gerakan fluida disekitar permukaan *blade* bergerak mengikuti bentuk permukaan yang menyebabkan adanya tekanan yang berbeda disetiap permukaannya. Setelah didapatkan nilai dari tekanan pada setiap *probe*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung tekanan rata-rata disetiap permukaan *blade*.

Tabel 4.4 Tekanan rata-rata dari setiap bagian permukaan *blade*

Total Tekanan	45	30	15	0	-15	-30
Upper	7.48E+03	4.93E+03	4.43E+03	4.58E+03	2.95E+03	1.06E+03
Lower	4.45E+03	2.78E+03	2.99E+03	4.67E+03	4.82E+03	4.06E+03

4.4.2 Perhitungan Koefisien Lift (Cl)

Dari tabel 4.4 didapatkan total tekanan, sehingga diperoleh nilai dari gaya setiap sudut permukaan seperti diberikan pada tabel berikut,

Tabel 4.5 Force tiap sudut pada permukaan

	45	30	15	0	-15	-30
Upper	4.69E+02	3.09E+02	2.78E+02	2.87E+02	1.85E+02	6.64E+01
Lower	2.49E+02	1.55E+02	1.67E+02	2.61E+02	2.69E+02	2.27E+02
Force	2.21E+02	1.54E+02	1.11E+02	2.59E+01	-8.42E+01	-1.60E+02

Gambar 4.11 menunjukan nilai pada sudut 15 degree merupakan nilai terbesar, pada sudut 0 sampai 15 degree koefisien lift akan naik, dan 15 sampai 45 degree terjadi penurunan nilai.

4.4.3 Perhitungan Diameter Turbin

Perhitungan diameter turbin dapat dicari menggunakan persamaan (14) dimana merupakan perbandingan antara jumlah *blade*, panjang chord terhadap diameter turbin, atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Solidity = \frac{N.c}{D}$$

Diketahui bahwa untuk nilai solidity terbaik adalah 0.05 sedangkan untuk nilai panjang chord HLIFT adalah 0.4 m sehingga dapat dihitung untuk setiap jumlah *blade* dan panjang diameter adalah:

Tabel 4.7 Penentuan diameter dengan *Solidity ratio* = 0.05

No	N <i>blade</i>	Diameter
1	3	24
2	4	32
3	5	40

Diameter turbin yang baik adalah 24 meter dengan jumlah *blade* 3 buah, hal ini dipilih sebagai bahan pertimbangan dalam aspek ekonomi dan keandalan turbin akibat getaran.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pemodelan terhadap *blade* tipe HLIFT dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil running dan perhitungan untuk *angle of attack* dengan arah sudut 45 deg, 30 deg, 15 deg, 0 deg, -15 deg, -30 deg diketahui bahwa koefisien lift pada *blade* tipe HLIFT terbaik adalah *angle of attack* arah 15 derajat dengan nilai koefisien sebesar: 1.964419
2. Pemilihan diameter pada turbin dapat diketahui sebesar 24 meter dengan jumlah *blade* 3 buah dengan alasan bahan pertimbangan dalam aspek ekonomi dan keandalan turbin akibat getaran.

5.2. Saran

Saran untuk pengembangan penelitian ini selanjutnya:.

1. Perlu pertimbangan dengan membandingkan dengan jenis *blade* tipe yang lain sehingga dapat dilakukan perbandingan untuk mendapatkan desain yang baik.
2. Perlu adanya penelitian yang lebih lanjut menggunakan *software* yang lain yang lebih baik, stabil dan banyak mencakup dalam pemodelan.
3. Pengembangan lebih lanjut terhadap *blade* tipe HLIFT dengan cara memodifikasi *blade* untuk mendapatkan koefisien lift yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Bowditch Nathaniel LLD, 1995, **The American Practical Navigator**, National Imagery And Mapping Agency, Maryland
- Coiro D P, A. De Marco, F. Nicolosi, S. Melone, F. Montella, 2005, **Dynamic Behaviour of the Patented Kobold Tidal Current Turbine: Numerical and Experimental Aspects**. Acta Polytechnica Vol. 45 No. 3, Czech Technical University
- Aircraft Design and Aeroflightdynamics Group (ADAG), 2006, www.dpa.unina.it/adag/, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Accessed at February 7th 2009
- Danish Wind Industry Association, 2003, www.windpower.org. Danish, Accessed February 7th 2009
- Dreese John, 2007, **The Dreese Airfoil Primer: Basic Terms & Geometry**. www.dreeseencode.com/primer/airfoil1.html, Accessed at February 7th 2009
- ESRU (Energy Systems Research Unit), 2006, **Marine Current Resource and Technology Methodology**, Marine Current Energy Group. www.esru.strath.ac.uk, Strachlyde University, Accessed at February 7th 2009
- Flow Science Inc., 1997, FLOW-3D® Excellence in Flow Modelling Software. **FLOW3D version 8.1: User's Manual**, Los Alamos, New Mexico
- Hwang In Seong, Seung Yong Min, In Oh Jeong, Yun Han Lee and Seung Jo Kim, 2005, **Efficiency Improvement of a New Vertical Axis Wind Turbine by Individual Active Control of Blade Motion**. School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University. Korea
- Jan J.Tuma, 1976, **Handbook of Physical Calculations**. McGraw-Hill Book Company, United State of America
- Johnson Gary L, 2001, **Wind Energy Systems**. Prentice-Hall, University of Wisconsin – Madison
- Kantor Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2000, **Konsep Akhir Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional**. Jakarta.
- Maser Michael, 2004, **Tidal Energy**. Blue Energy Canada Inc., Canada
- MCT (Marine Current Turbine Ltd), 2000, www.marineturbine.com, United Kingdom, Accessed at July 24th 2008

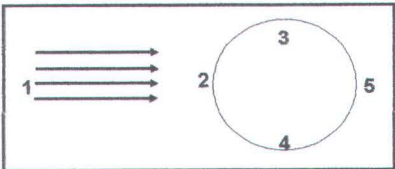
LAMPIRAN

Input FLOW3D

```
Title    SIMULATION FOR HLIFT AIRFOIL
$xput
remark='units are mks',
twfin=25., remark='Set finish simulation time',
itb=0,      remark='No free surface, set itb=1 for free surface',
nmat=1,     remark='number of fluid',
iadix=1,    remark='pressure iteration',
iadiy=1,
epsadj=1.,  remark='adjustment pressure iteration',
autot=2.,   remark='time step size controlled by stability',,
idrg=2,     remark='Drag function flag depend fluid fraction',
hpltdt=1.,  remark='Plot output control',
pltdt=0.5,  remark='restart data interval for flowvu output',
apltdt=1.,  remark='Time interval for animation ',
$end
$limits
$end
$props
rhof=1025., remark='set water density',
$end
$bcdata
wl=6,      remark='specified velocity bc, set 6 for specified
velocity',
wr=8,      remark='outflow bc, set 8 for outflow',
wf=1,      remark='symmetry bc, set 1 for symmetry',
wb=1,
wt=1,
wbk=1,
ubc(1)=1., remark='Velocity at x mesh bc',
$end
$mesh
nxcelt=200, remark='total cell at x direction',
px(1)=-0.5, nxcell(1)=10,
px(2)=-0.05, nxcell(2)=70,
px(3)=0.55, nxcell(3)=10,
px(4)=0.75, remark='total cell at y direction',
nycelt=150,
py(1)=-0.25, nycell(1)=10,
py(2)=-0.05, nycell(2)=70,
py(3)=0.55, nycell(3)=10,
py(4)=0.75,
nzcelt=1,    remark='total cell at z direction',
pz(1)=0.,
pz(2)=1.,
$end
$obs
avrck=-5.1,
nobs=1,      remark='numbers of obstacle',
iob(1)=1,    remark='region association',
ioh(1)=1,    remark='region obstacle type, set 1 for solid',
igen(1)=3,   remark='source of geometric data, set 3 for STL CAD
data',
fstl(1)='stl01.stl', remark='input obstacle from CAD',
magnx(1)=1., magny(1)=1., magnz(1)=1.,
rotx(1)=0., roty(1)=0., rotz(1)=0.,
trnx(1)=0., trny(1)=0., trnz(1)=0.,
```

Validasi Silinder

Output Pressure FLOW3D



time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5
0,02	4567,74	2882,92	-280,44	-286,10	12137,57
0,50	4763,68	4519,68	-203,13	-205,57	15635,93
1,00	4619,83	4395,81	-343,50	-327,01	14181,33
1,50	4487,89	4258,14	-475,80	-461,46	12906,23
2,00	4358,69	4130,96	-602,00	-586,68	11689,19
2,50	4246,20	4016,03	-725,52	-698,88	10467,96
3,00	4133,64	3904,12	-834,59	-809,16	9414,00
3,50	4036,87	3800,56	-933,24	-909,84	8442,94
4,00	3942,85	3706,83	-1032,00	-1002,04	7455,31
4,50	3856,07	3617,54	-1115,71	-1089,80	6638,21
5,00	3773,00	3534,87	-1195,97	-1172,27	5855,92
5,50	3695,90	3461,43	-1277,24	-1245,93	5051,84
6,00	3628,08	3392,59	-1344,88	-1314,49	4379,61
6,50	3567,92	3326,70	-1401,24	-1380,32	3832,37
7,00	3515,19	3272,14	-1460,89	-1433,73	3203,17
7,50	3460,74	3220,92	-1516,22	-1485,55	2643,95
8,00	3415,21	3171,94	-1562,90	-1535,25	2182,09
8,50	3367,15	3125,66	-1602,16	-1582,41	1801,11
9,00	3330,59	3084,80	-1640,29	-1623,63	1416,50
9,50	3289,57	3048,42	-1680,61	-1660,99	1007,92
10,00	3257,23	3015,68	-1715,83	-1693,99	637,20
10,50	3227,72	2982,44	-1742,14	-1727,56	368,82
11,00	3195,02	2951,95	-1773,29	-1759,71	68,56
11,50	3167,60	2925,42	-1802,02	-1786,89	-232,92
12,00	3149,09	2901,81	-1822,86	-1809,12	-475,28
12,50	3120,30	2877,37	-1849,10	-1835,46	-719,31
13,00	3101,91	2855,63	-1868,58	-1857,05	-934,20
13,50	3083,46	2833,85	-1886,12	-1879,14	-1103,54
14,00	3060,66	2814,84	-1908,59	-1899,40	-1322,85
14,50	3047,38	2796,90	-1920,96	-1916,75	-1450,14
15,00	3030,37	2783,37	-1941,79	-1930,78	-1683,05
15,50	3016,66	2765,40	-1949,49	-1949,07	-1737,12
16,00	3001,27	2751,16	-1962,10	-1964,02	-1858,77
16,50	2991,27	2742,02	-1978,86	-1972,86	-2054,08
17,00	2976,41	2727,46	-1986,27	-1988,40	-2096,32
17,50	2969,27	2721,94	-2002,71	-1993,38	-2308,11
18,00	2955,33	2710,12	-2009,50	-2006,16	-2347,26
18,50	2948,26	2701,21	-2016,94	-2015,41	-2417,90
19,00	2939,68	2692,98	-2025,04	-2023,96	-2492,93
19,50	2937,28	2688,61	-2031,83	-2027,45	-2584,82
20,00	2930,24	2681,30	-2033,95	-2034,70	-2602,95
20,50	2923,55	2674,26	-2038,90	-2042,85	-2628,35
21,00	2918,16	2669,16	-2044,08	-2047,84	-2677,18
21,50	2919,42	2668,36	-2049,01	-2047,07	-2771,09
22,00	2910,87	2663,73	-2057,56	-2053,43	-2832,27
22,50	2912,01	2660,96	-2055,97	-2054,68	-2840,99
23,00	2903,82	2656,70	-2062,99	-2060,64	-2885,82
23,50	2903,57	2655,98	-2065,87	-2060,22	-2940,96
24,00	2903,88	2652,39	-2065,53	-2063,65	-2933,41
24,50	2896,80	2647,78	-2065,59	-2068,90	-2908,62
25,00	2899,19	2647,89	-2070,52	-2068,31	-2978,54

Lower 45

Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	7,61E+03	6,53E+03	6,10E+03	4,41E+03	3,82E+03	3,80E+03	4,08E+03
0	8,95E+03	8,83E+03	9,20E+03	9,11E+03	8,58E+03	4,79E+03	6,73E+03
0	-1,62E+01	2,16E+02	6,84E+02	1,15E+03	1,12E+03	-1,50E+03	1,03E+03
0	-4,35E+02	-1,90E+02	2,85E+02	7,75E+02	7,75E+02	-1,68E+03	7,40E+02
0	-2,87E+02	-5,10E+01	4,25E+02	9,10E+02	9,04E+02	-1,47E+03	8,17E+02
1	6,50E+02	6,82E+02	7,16E+02	7,21E+02	7,12E+02	6,63E+02	7,54E+02
2	7,02E+02	7,27E+02	7,60E+02	7,84E+02	7,90E+02	7,40E+02	8,23E+02
3	7,04E+02	7,29E+02	7,62E+02	7,85E+02	7,91E+02	7,38E+02	8,23E+02
4	6,95E+02	7,20E+02	7,53E+02	7,77E+02	7,83E+02	7,30E+02	8,15E+02
5	6,89E+02	7,14E+02	7,47E+02	7,71E+02	7,77E+02	7,24E+02	8,09E+02
6	6,82E+02	7,07E+02	7,40E+02	7,64E+02	7,70E+02	7,16E+02	8,01E+02
7	6,75E+02	7,00E+02	7,34E+02	7,58E+02	7,64E+02	7,10E+02	7,94E+02
8	6,71E+02	6,96E+02	7,29E+02	7,53E+02	7,59E+02	7,06E+02	7,90E+02
9	6,65E+02	6,91E+02	7,24E+02	7,48E+02	7,53E+02	7,00E+02	7,84E+02
10	6,58E+02	6,84E+02	7,17E+02	7,41E+02	7,47E+02	6,96E+02	7,78E+02
11	6,54E+02	6,79E+02	7,13E+02	7,36E+02	7,42E+02	6,91E+02	7,74E+02
12	6,48E+02	6,74E+02	7,07E+02	7,31E+02	7,37E+02	6,85E+02	7,67E+02
13	6,42E+02	6,67E+02	7,01E+02	7,25E+02	7,31E+02	6,79E+02	7,60E+02
14	6,37E+02	6,63E+02	6,96E+02	7,20E+02	7,26E+02	6,75E+02	7,57E+02
15	6,32E+02	6,58E+02	6,91E+02	7,15E+02	7,20E+02	6,68E+02	7,51E+02
16	6,25E+02	6,51E+02	6,84E+02	7,08E+02	7,14E+02	6,63E+02	7,44E+02
17	6,20E+02	6,46E+02	6,79E+02	7,04E+02	7,10E+02	6,58E+02	7,39E+02
18	6,15E+02	6,41E+02	6,74E+02	6,98E+02	7,04E+02	6,53E+02	7,35E+02
19	6,09E+02	6,35E+02	6,68E+02	6,92E+02	6,98E+02	6,46E+02	7,28E+02
20	6,04E+02	6,30E+02	6,64E+02	6,87E+02	6,93E+02	6,42E+02	7,24E+02
21	5,99E+02	6,25E+02	6,58E+02	6,82E+02	6,87E+02	6,36E+02	7,18E+02
22	5,93E+02	6,19E+02	6,52E+02	6,76E+02	6,82E+02	6,31E+02	7,13E+02
23	5,88E+02	6,14E+02	6,47E+02	6,71E+02	6,77E+02	6,25E+02	7,06E+02
24	5,82E+02	6,08E+02	6,42E+02	6,65E+02	6,71E+02	6,21E+02	7,02E+02
25	5,76E+02	6,03E+02	6,36E+02	6,60E+02	6,66E+02	6,14E+02	6,95E+02

Lower 30

Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	8,02E+03	7,07E+03	6,62E+03	4,92E+03	4,05E+03	3,63E+03	3,64E+03
0	2,82E+03	2,16E+03	2,46E+03	2,60E+03	2,35E+03	1,19E+03	1,88E+03
0	4,35E+02	-1,03E+02	2,42E+02	5,64E+02	5,38E+02	-1,92E+02	5,68E+02
1	5,57E+02	4,62E+02	4,80E+02	4,71E+02	4,70E+02	5,27E+02	5,69E+02
2	6,08E+02	4,98E+02	5,15E+02	5,23E+02	5,31E+02	5,39E+02	5,71E+02
3	5,96E+02	4,88E+02	5,05E+02	5,12E+02	5,18E+02	5,28E+02	5,60E+02
4	5,88E+02	4,80E+02	4,98E+02	5,05E+02	5,10E+02	5,20E+02	5,52E+02
5	5,79E+02	4,71E+02	4,89E+02	4,96E+02	5,02E+02	5,12E+02	5,43E+02
6	5,72E+02	4,64E+02	4,81E+02	4,88E+02	4,94E+02	5,03E+02	5,35E+02
7	5,63E+02	4,55E+02	4,73E+02	4,80E+02	4,86E+02	4,95E+02	5,26E+02
8	5,55E+02	4,47E+02	4,65E+02	4,72E+02	4,78E+02	4,87E+02	5,18E+02
9	5,48E+02	4,40E+02	4,58E+02	4,65E+02	4,71E+02	4,81E+02	5,12E+02
10	5,41E+02	4,33E+02	4,51E+02	4,58E+02	4,64E+02	4,73E+02	5,04E+02
11	5,34E+02	4,27E+02	4,44E+02	4,51E+02	4,57E+02	4,66E+02	4,98E+02
12	5,28E+02	4,20E+02	4,38E+02	4,45E+02	4,51E+02	4,60E+02	4,92E+02
13	5,21E+02	4,14E+02	4,31E+02	4,39E+02	4,45E+02	4,53E+02	4,84E+02
14	5,15E+02	4,08E+02	4,26E+02	4,33E+02	4,38E+02	4,47E+02	4,79E+02
15	5,09E+02	4,02E+02	4,20E+02	4,27E+02	4,33E+02	4,42E+02	4,73E+02
16	5,04E+02	3,97E+02	4,14E+02	4,21E+02	4,27E+02	4,37E+02	4,68E+02
17	4,98E+02	3,92E+02	4,09E+02	4,16E+02	4,22E+02	4,30E+02	4,62E+02
18	4,93E+02	3,87E+02	4,04E+02	4,11E+02	4,17E+02	4,26E+02	4,58E+02
19	4,88E+02	3,81E+02	3,99E+02	4,06E+02	4,12E+02	4,20E+02	4,52E+02
20	4,83E+02	3,76E+02	3,94E+02	4,01E+02	4,07E+02	4,16E+02	4,48E+02
21	4,78E+02	3,72E+02	3,89E+02	3,97E+02	4,03E+02	4,12E+02	4,43E+02
22	4,74E+02	3,68E+02	3,85E+02	3,92E+02	3,98E+02	4,07E+02	4,39E+02
23	4,70E+02	3,64E+02	3,81E+02	3,88E+02	3,94E+02	4,03E+02	4,35E+02
24	4,66E+02	3,60E+02	3,77E+02	3,84E+02	3,90E+02	3,99E+02	4,31E+02
25	4,62E+02	3,56E+02	3,74E+02	3,81E+02	3,86E+02	3,95E+02	4,27E+02



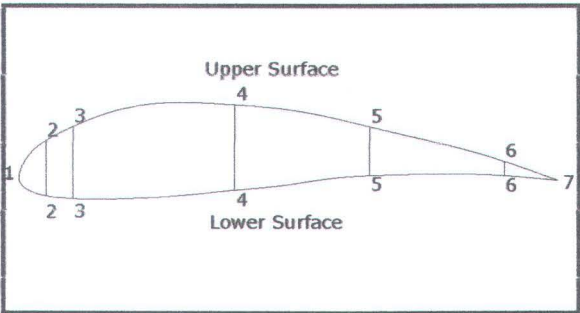
Lower 15

Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	8,17E+03	7,45E+03	7,13E+03	5,45E+03	4,40E+03	0,00E+00	3,37E+03
0	1,03E+03	5,88E+02	7,40E+02	8,89E+02	8,47E+02	0,00E+00	7,18E+02
0	6,35E+02	2,20E+02	3,77E+02	5,80E+02	5,92E+02	0,00E+00	5,41E+02
1	6,05E+02	2,72E+02	4,05E+02	5,78E+02	5,82E+02	5,45E+02	5,52E+02
2	5,87E+02	2,54E+02	3,87E+02	5,60E+02	5,64E+02	5,40E+02	5,32E+02
3	5,73E+02	2,40E+02	3,73E+02	5,46E+02	5,50E+02	5,23E+02	5,18E+02
4	5,62E+02	2,30E+02	3,63E+02	5,36E+02	5,40E+02	5,11E+02	5,08E+02
5	5,55E+02	2,23E+02	3,56E+02	5,29E+02	5,33E+02	5,03E+02	5,02E+02
6	5,50E+02	2,17E+02	3,51E+02	5,24E+02	5,29E+02	4,97E+02	4,97E+02
7	5,47E+02	2,14E+02	3,48E+02	5,21E+02	5,25E+02	4,93E+02	4,95E+02
8	5,44E+02	2,11E+02	3,45E+02	5,18E+02	5,23E+02	4,91E+02	4,91E+02
9	5,42E+02	2,09E+02	3,43E+02	5,16E+02	5,20E+02	4,88E+02	4,89E+02
10	5,40E+02	2,08E+02	3,42E+02	5,15E+02	5,18E+02	4,87E+02	4,87E+02
11	5,39E+02	2,06E+02	3,40E+02	5,13E+02	5,17E+02	4,85E+02	4,86E+02
12	5,37E+02	2,05E+02	3,38E+02	5,12E+02	5,15E+02	4,83E+02	4,84E+02
13	5,36E+02	2,03E+02	3,36E+02	5,10E+02	5,14E+02	4,82E+02	4,84E+02
14	5,35E+02	2,03E+02	3,36E+02	5,09E+02	5,13E+02	4,81E+02	4,82E+02
15	5,34E+02	2,02E+02	3,35E+02	5,08E+02	5,12E+02	4,79E+02	4,81E+02
16	5,33E+02	2,00E+02	3,33E+02	5,07E+02	5,11E+02	4,79E+02	4,80E+02
17	5,32E+02	1,99E+02	3,33E+02	5,06E+02	5,10E+02	4,77E+02	4,79E+02
18	5,31E+02	1,99E+02	3,32E+02	5,05E+02	5,09E+02	4,76E+02	4,79E+02
19	5,30E+02	1,98E+02	3,31E+02	5,04E+02	5,08E+02	4,76E+02	4,78E+02
20	5,29E+02	1,97E+02	3,30E+02	5,03E+02	5,08E+02	4,75E+02	4,77E+02
21	5,28E+02	1,96E+02	3,29E+02	5,03E+02	5,07E+02	4,74E+02	4,76E+02
22	5,28E+02	1,96E+02	3,29E+02	5,02E+02	5,06E+02	4,73E+02	4,74E+02
23	5,27E+02	1,95E+02	3,28E+02	5,01E+02	5,05E+02	4,73E+02	4,75E+02
24	5,26E+02	1,93E+02	3,27E+02	5,00E+02	5,05E+02	4,71E+02	4,73E+02
25	5,25E+02	1,93E+02	3,26E+02	4,99E+02	5,04E+02	4,70E+02	4,73E+02

Lower 0

Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	7,57E+03	7,87E+03	7,57E+03	6,02E+03	4,88E+03	3,76E+03	3,31E+03
0	9,13E+02	6,66E+02	6,87E+02	7,01E+02	6,68E+02	5,16E+02	5,54E+02
1	9,25E+02	6,48E+02	6,57E+02	6,57E+02	6,32E+02	5,45E+02	5,36E+02
2	9,27E+02	6,50E+02	6,59E+02	6,58E+02	6,34E+02	5,48E+02	5,39E+02
3	9,28E+02	6,52E+02	6,61E+02	6,60E+02	6,35E+02	5,49E+02	5,40E+02
4	9,31E+02	6,55E+02	6,63E+02	6,62E+02	6,37E+02	5,51E+02	5,41E+02
5	9,32E+02	6,57E+02	6,65E+02	6,63E+02	6,38E+02	5,52E+02	5,43E+02
6	9,33E+02	6,58E+02	6,66E+02	6,64E+02	6,39E+02	5,53E+02	5,44E+02
7	9,33E+02	6,58E+02	6,66E+02	6,65E+02	6,40E+02	5,54E+02	5,45E+02
8	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,40E+02	5,53E+02	5,44E+02
9	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
10	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,40E+02	5,54E+02	5,45E+02
11	9,35E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,45E+02
12	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,66E+02	6,40E+02	5,54E+02	5,45E+02
13	9,35E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
14	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,46E+02
15	9,35E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,45E+02
16	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,67E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
17	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,45E+02
18	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
19	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,46E+02
20	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,67E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,45E+02
21	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,67E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
22	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02
23	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,46E+02
24	9,34E+02	6,59E+02	6,67E+02	6,66E+02	6,41E+02	5,55E+02	5,46E+02
25	9,35E+02	6,60E+02	6,68E+02	6,67E+02	6,41E+02	5,54E+02	5,45E+02

Blade HLIFT untuk -30 derajat



Upper -30

Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	8,21E+03	7,36E+03	6,90E+03	4,83E+03	3,85E+03	3,62E+03	3,83E+03
0	8,08E+02	2,71E+02	3,70E+02	4,94E+02	5,13E+02	-1,13E+03	3,48E+02
1	3,44E+02	-7,49E+01	8,19E+01	3,38E+02	3,97E+02	4,01E+02	4,49E+02
2	3,49E+02	-7,13E+01	8,37E+01	3,37E+02	3,94E+02	3,96E+02	4,44E+02
3	3,36E+02	-8,47E+01	7,06E+01	3,25E+02	3,82E+02	3,83E+02	4,31E+02
4	3,22E+02	-9,89E+01	5,64E+01	3,11E+02	3,68E+02	3,70E+02	4,17E+02
5	3,09E+02	-1,11E+02	4,46E+01	3,00E+02	3,57E+02	3,58E+02	4,06E+02
6	2,97E+02	-1,23E+02	3,27E+01	2,87E+02	3,44E+02	3,46E+02	3,94E+02
7	2,86E+02	-1,32E+02	2,39E+01	2,80E+02	3,37E+02	3,39E+02	3,86E+02
8	2,76E+02	-1,43E+02	1,29E+01	2,69E+02	3,26E+02	3,27E+02	3,75E+02
9	2,66E+02	-1,54E+02	2,34E+00	2,58E+02	3,14E+02	3,16E+02	3,65E+02
10	2,57E+02	-1,61E+02	-4,74E+00	2,52E+02	3,09E+02	3,10E+02	3,58E+02
11	2,48E+02	-1,69E+02	-1,25E+01	2,45E+02	3,02E+02	3,03E+02	3,50E+02
12	2,40E+02	-1,79E+02	-2,24E+01	2,34E+02	2,90E+02	2,92E+02	3,40E+02
13	2,32E+02	-1,86E+02	-2,90E+01	2,28E+02	2,84E+02	2,86E+02	3,34E+02
14	2,24E+02	-1,99E+02	-4,00E+01	2,15E+02	2,73E+02	2,74E+02	3,21E+02
15	2,18E+02	-1,99E+02	-4,20E+01	2,15E+02	2,72E+02	2,73E+02	3,21E+02

Lower -30

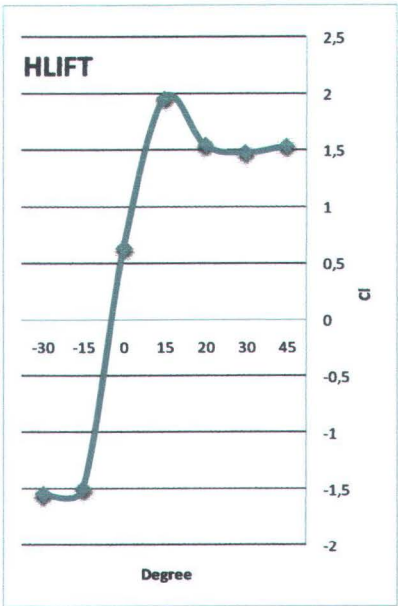
Time	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7
0	8,21E+03	0,00E+00	7,53E+03	7,26E+03	0,00E+00	4,57E+03	3,83E+03
0	8,08E+02	0,00E+00	9,94E+02	9,65E+02	0,00E+00	4,77E+02	3,48E+02
1	3,44E+02	1,01E+03	9,81E+02	8,53E+02	8,20E+02	5,61E+02	4,49E+02
2	3,49E+02	9,72E+02	9,74E+02	8,50E+02	7,73E+02	5,56E+02	4,44E+02
3	3,36E+02	9,62E+02	9,63E+02	8,38E+02	7,62E+02	5,44E+02	4,31E+02
4	3,22E+02	9,49E+02	9,50E+02	8,25E+02	7,51E+02	5,30E+02	4,17E+02
5	3,09E+02	9,37E+02	9,38E+02	8,13E+02	7,36E+02	5,19E+02	4,06E+02
6	2,97E+02	9,25E+02	9,27E+02	8,02E+02	7,26E+02	5,07E+02	3,94E+02
7	2,86E+02	9,15E+02	9,17E+02	7,93E+02	7,15E+02	4,99E+02	3,86E+02
8	2,76E+02	9,05E+02	9,07E+02	7,83E+02	7,05E+02	4,88E+02	3,75E+02
9	2,66E+02	8,95E+02	8,98E+02	7,73E+02	6,97E+02	4,78E+02	3,65E+02
10	2,57E+02	8,86E+02	8,89E+02	7,65E+02	6,88E+02	4,71E+02	3,58E+02
11	2,48E+02	8,78E+02	8,81E+02	7,57E+02	6,79E+02	4,63E+02	3,50E+02
12	2,40E+02	8,70E+02	8,74E+02	7,49E+02	6,73E+02	4,54E+02	3,40E+02
13	2,32E+02	8,62E+02	8,66E+02	7,42E+02	6,65E+02	4,47E+02	3,34E+02
14	2,19E+02	8,49E+02	8,54E+02	7,30E+02	6,52E+02	4,36E+02	3,21E+02
15	2,18E+02	8,48E+02	8,53E+02	7,30E+02	6,52E+02	4,35E+02	3,21E+02

Untuk perhitungan koefisien lift
Digunakan persamaan

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho V A$$

dimana A = projected Area (area yang tegak lurus terhadap aliran)
Maka

Degree	Area (m2)	Coef. Lift
45	0,28	1,54
30	0,203	1,48
20	0,14	1,54
15	0,11	1,96
0	0,08	0,63
-15	0,11	-1,49
-30	0,203	-1,54



Perhitungan Diameter turbin
Persamaan :

$$Solidity = \frac{N.c}{D}$$

Diketahui : Length of Chord = 0,4 m
 Solidity Ratio = 0,05

No	N blade	Diameter
1	3	24
2	4	32
3	5	40

